

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**



⑮ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 101 60 179 A 1**

⑤ Int. Cl. 7:
G 01 C 11/00

⑲ Aktenzeichen: 101 60 179.4
⑳ Anmeldetag: 7. 12. 2001
㉑ Offenlegungstag: 31. 7. 2003

DE 101 60 179 A 1

⑦① Anmelder:
Halbritter, Klaus Rudolf, 59227 Ahlen, DE

⑦④ Vertreter:
Streitbörger, Speckmann, Kayser & Möbus, 59065
Hamm

⑦② Erfinder:
gleich Anmelder

⑤⑥ Entgegenhaltungen:
WO 01/31 290 A2

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

- ⑤④ Verfahren zur Fernerkundung morphologisch, topologisch und strukturell komplexer Objekte in einem zu untersuchenden Objektraum
- ⑤⑦ Ein Verfahren zur Fernerkundung morphologisch und strukturell komplexer Objekte in einem Objektraum umfaßt die Schritte:
- a) Erfassen von Topometriedaten und -informationen in dem Objektraum;
 - b) Auswerten der Topometriedaten und -informationen;
 - c) Wiedergeben der ausgewerteten Topometriedaten und -informationen als maschinenlesbare oder sensitiv wahrnehmbare Datensätze.

DE 101 60 179 A 1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Fernerkundung morphologisch, topologisch und strukturell komplexer Objekte in einem Objektraum, mit den Schritten a) Erfassen von Topometriedaten und -informationen in dem Objektraum; b) Auswerten der Topometriedaten und -informationen; c) Wiedergeben der ausgewerteten Topometriedaten und -informationen als maschinenlesbare oder sensitiv wahrnehmbare Datensätze.

[0002] Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung ein auf Fernerkundung basierendes Verfahrenspaket zur Erfassung und Beobachtung der Biodiversität von land- und forstwirtschaftlichen Pflanzenbeständen sowie zur Charakterisierung anderer räumlich definierter oder definierbarer, morphologisch und strukturell einfacher oder komplexer natürlicher oder technischer Objekte anhand ihrer digitalen n-dimensionalen (v. a. 1D-, 2D-, 2,5D- und 3D-) Modelle.

[0003] Ein solches Verfahren ist aus dem Stand der Technik nicht bekannt.

[0004] Die Angaben in der folgenden Beschreibung, sofern nicht in dieser Schrift detailliert erläutert, finden sich in der Dissertation des Erfinders und Antragstellers. Die Dissertation ist zum Zeitpunkt der Antragstellung weder publiziert noch eingereicht. Ein Exemplar liegt der Beschreibung als Anhang bei.

[0005] TREESCAPE ist ein Verfahrenspaket zur automatisierten Datenanalyse und Informationsextraktion aus n-dimensionalen Datensätzen. Es ist in der Lage

- räumlich und zeitlich kodierte Daten
- verschiedenster Aggregationsstufen
- mit zugehörigen Grafikdaten
- für verschiedene Anwender

zu kombinieren.

[0006] Durch speziell programmierte Software werden die TREESCAPE-Verfahren operationalisiert. Die durch TREESCAPE-Verfahren extrahierten oder durch Anwendung von TREESCAPE-Verfahren und anschließenden Folgerungen, Korrelationen (im weitesten, auch nicht streng statistischen Sinn), Schätzungen etc. gewonnenen Informationen bedeuten entweder einen Rationalisierungseffekt bei der Datenerhebung oder bei der Informationsgewinnung gegenüber derzeitig in der Praxis üblichen Methoden, oder sie erleichtern erheblich, oder ermöglichen überhaupt erst (technisch oder unter wirtschaftlichen Aspekten betrachtet), die Datenerhebung oder die eingehende Untersuchung der Gegebenheiten innerhalb des untersuchten Objektraums oder die Zusammenhänge der Gegebenheiten innerhalb des untersuchten Objektraums und dessen Umgebung.

[0007] Die Notwendigkeit des Einbeziehens vieler Fachdisziplinen mit vielerlei Variablen in ein Analysesystem wird besonders deutlich in der Umweltbeobachtung. Gleichzeitig schreitet die Sensibilisierung der Meß-, Schätz-, Inventur- und Überwachungstechniken voran. Das notwendige Vorwissen ist oft nicht in ausreichendem Umfang vorhanden um die großen Datenmengen angemessen zu strukturieren, besonders weil dabei Zusammenhängen aus Variablen hoher semantischer Heterogenität verschiedener Spezialgebiete hergestellt werden müssen. Bedarf an effizienten Datenerhebungsmethoden und an Ansätzen für Analysen großer Datenmengen, wie sie z. B. in der Umweltbeobachtung von großer Bedeutung sein können, können in folgende Kategorien eingeteilt werden:

- Visualisierungen und Formulierung von Objekten, Strukturen, Formen, Mustern und Zusammenhängen in großen Datenmengen
- Wissensakquisition aus vorhandenen Datenmengen, z. B. für die Konstruktion der Wissensbasis von Expertensystemen und neuronalen Netzen
- Konnektionistische Modelle als "Beobachter" der dynamischen, komplexen Realität und von dynamischen, komplexen Systemen, z. B. Expertensystemen und neuronalen Netzen
- Steuerung dynamischer, komplexer Systeme, z. B. eines Expertensystems und des Anlernens neuronaler Netze
- Konnektionistische Modelle zur Diagnose als Klassifikation von Zuständen
- Konnektionistische Modelle zur Bildung zeitlicher Historien von Objekten und zur Prognose von zeitlichen Entwicklungen

[0008] Besonders in der Naturbeobachtung ist es wünschenswert, hochdimensionale Daten, also Daten mit mehreren bis vielen Attributen (z. B. als Punktmarken in räumlichen Punktprozessen) zu strukturieren und aus der Zusammenschau möglichst vieler Merkmale und Ausprägungen gesuchte oder unerwartete Informationen gewinnen.

[0009] TREESCAPE liefert eine Vielzahl solcher Daten und erfüllt eine Anzahl der steigenden Erwartungen hinsichtlich Objektivität und Aufwand.

[0010] Auf den bevorzugten Typ der großen Vielfalt möglicher Untersuchungsobjekte, terrestrische Landschaften, besonders Vegetationsbestände in der Landschaft (v. a. Wald) bezogen, lässt sich die Zielsetzung des Verfahrenspakets wie folgt skizzieren:

[0011] Schätzung von Anzahlen, Dichten, Massen, Volumina, Gewichten, Dimensionen, Vorkommen, Abwesenheit, zeitlichen Dynamiken des Auftretens oder der Charakteristika von abiotischen oder biotischen Sachverhalten, Organismen, Populationen etc., insbesondere von Biomassen und ihrer räumlichen und individuellen Verteilungen sowie zeitlichen Dynamiken durch Inbezugsetzen mit Resultaten der TREESCAPE-Verfahren, angewendet insbesondere auf Fragestellungen aus den Bereichen

- Erkundung und Beobachtung von Vorräten und Vorratsveränderungen
- Erkundung und Beobachtung von Qualitäten und Qualitätsveränderungen
- Erkundung und Beobachtung von Charakteristika und deren Veränderungen

insbesondere unter Einbeziehen von Aspekten der biologischen Vielfalt (Biodiversität), landschaftlichen Vielfalt, der geologischen Vielfalt (Geodiversität), sowie der strukturellen und morphologischen Vielfalt von Objekten, Merkmalen und Phänomenen aller Art auf lokaler, landschaftlicher, regionaler oder globaler Betrachtungsebene.

[0012] TREESCAPE-Resultate können Metainformationen berücksichtigen. Andererseits können TREESCAPE-Resultate für die Generierung von Metainformationen eingesetzt werden. Dies gilt v. a. für syntaktische, semantische, strukturelle, navigatorische Metainformationen.

[0013] Bei der Informationsgewinnung können und sollen Indikatoren eingesetzt werden, welche bereits bekannt sind und über deren Indikatoreigenschaft gesichertes Wissen bereits vorliegt. Dabei können jedoch auch solche Indikatoren eingesetzt werden, welche erst durch den Einsatz von TREESCAPE-Verfahren Indikatoreigenschaft erhalten, wobei graphische oder alphanumerische Resultate von TREESCAPE-Modulen in entscheidender Weise mitwirken.

[0014] Die Gewährleistung und Regelung der Nachhaltigkeit der Nutzungsmöglichkeiten unserer Naturressourcen hat eine hohe Stufe der Dringlichkeit erreicht. Gesetzgeberische Instrumente existieren in vielen Ländern. Zu deren Umsetzung in praktisches Handeln sowie zur Überwachung ihrer Einhaltung mangelt es weniger an technischen Instrumenten. Woran es mangelt sind Verfahren, mit denen rationell, ökonomisch und schnell, unter Einsatz bereits vorhandenen Wissens und eines umfangreichen mathematischen Apparats Daten und Informationen gewonnen werden können, auf welche Planungen, Arbeiten und Kontrollen gestützt werden können. Erstrebenswert ist es gewesen, bei der Entwicklung solcher Verfahren möglichst universelle Möglichkeiten zur Gewinnung neuen Wissens im Blick zu haben. Ein solches Verfahrenspaket, TREESCAPE, wird hiermit vorgestellt und soll als Gesamtheit gegen unbefugten Gebrauch geschützt werden. Diese Wortmarke wurde mit einer Bildmarke beim DPMA angemeldet.

[0015] Umweltverträglichkeitsprüfungen, Erfassung und Beobachtungen der Biodiversität in all ihren Teilaspekten verlangen nach zunehmend komplexer vernetzten und rasch verfügbaren Informationen. Ein in der Literatur über Umweltinformatik häufig beklagter Umstand ist der Mangel an Beispieldaten für das Anlernen von Expertensystemen und von neuronalen Netzen. Ursächlich ist die mühevolle Akquisition quantitativer und qualitativer Daten über die Realität. Selbst in hochtechnisierten Gesellschaften werden Waldinventuren zu einem großen Teil auf Daten gestützt, die von einzelnen Menschen im Gelände, also terrestrisch, aufgenommen werden. Die Flächenleistung eines Tages ist je nach Inventurziel und -intensität, gering im Vergleich zu den Potentialen der Fernerkundung. Der Einsatz von Fernerkundung aber setzt hocheffiziente Datenanalyssysteme voraus um die zweifellos im Einsatz geeigneter Fernerkundungsdaten vorhandenen Möglichkeiten hoher Flächenleistung optimal auszuschöpfen.

[0016] Die hochgradig automatisiert gewonnenen TREESCAPE-Resultate, vorzugsweise angewandt auf morphometrische Fernerkundungsdaten, eignen sich durch hohe Flächenleistungen bei höchstmöglicher Objektivität der Informationsgewinnung als Beispieldaten für das Anlernen von Expertensystemen und von neuronalen Netzen. Da mit TREESCAPE auch große Untersuchungsgebiete bearbeitet werden können, ist durch den Einsatz dieses Softwarepakets oder einzelner Module die Bereitstellung sehr umfangreicher räumlich kodierter Beispieldaten und Informationen kein unlösbares Problem mehr.

[0017] Ganz ähnliche Defizite bestehen bei der Speisung mathematischer Modelle mit Referenzdaten aus der Realität. TREESCAPE-Resultate eignen sich dafür, den in mathematischen Modellen verwendeten Variablen Werte zuzuweisen. Sie eignen sich auch zur Überprüfung und Bildung von Zusammenhängen zwischen Untersuchungsobjekten mit faktisch jeglichen relevanten Attributen. Hierin liegt ein großes Potential in der Umweltforschung mit Fernerkundung.

[0018] Die resultierenden Qualitätssteigerungen von Expertensystemen und neuronalen Netzwerken verhelfen den Nachfragern aktueller Daten und Informationen (Planern und Entscheidungsträgern) zu besseren und zuverlässigeren Informationen und Problemlösungen. Größere Zufriedenheit unter den Nachfragern bedingt eine gesteigerte Nachfrage nach solchen Systemen, somit mehr Entwicklungsmittel zu deren Verbesserung und somit zu stetig wachsender Qualität und letztlich zu besseren Lösungen bestehender und neu entstehender Probleme in einer sich rasch verkomplizierenden Welt.

[0019] Das Verfahrenspaket TREESCAPE wurde entwickelt für die Charakterisierung der belebten Umwelt, besonders von land- und forstwirtschaftlichen Vegetationsbeständen anhand deren digitaler Modelle. Die Grenzschichten von Pflanzenbeständen sind morphologisch und strukturell überwiegend sehr komplex; solche Objekte haben eine relativ hohe Rauigkeit. Die Anwendungsmöglichkeiten des Verfahrenspakets sind jedoch nicht auf solche Untersuchungsobjekte beschränkt.

[0020] Das Verfahrenspaket ist hierüber hinaus geeignet, auf jegliche Art Objekt mit äußeren und/oder inneren Grenzflächen angewendet zu werden, denn die TREESCAPE-Software arbeitet massstabneutral, skaleninvariant. Dabei ist an atomare und molekulare Objekte ebenso zu denken wie an Werkstoffe und Bauteile, Himmelskörper etc.

[0021] Da das Verfahrens- und Softwarepaket anhand der digitalen Modelle von Vegetationsbeständen entwickelt wurde, wird im folgenden Text der Einfachheit und Anschaulichkeit wegen von Vegetationsbeständen geredet, obwohl das Gesagte für jegliche andere denkbare Objektart ebenso gilt.

[0022] Digitale Modelle können hierbei Modelle lediglich der Oberfläche (2D- oder 2,5D-Modelle) oder des gesamten Bestandeswuchsräume (echte 3D-Modelle) der Pflanzenbestände sein. Aus diesen können beliebige Datensätze extrahiert und mit TREESCAPE analysiert werden.

[0023] Für einige der morphometrischen TREESCAPE-Verfahren ist es erforderlich, die Objekthöhen vor der Verarbeitung zu normieren. Beim bevorzugten Beispiel von Vegetationsbeständen (v. a. Wäldern) geschieht dies durch Subtraktion eines digitalen Geländemodells vom Oberflächennmodell des Objektraums. Ein derart normiertes Waldoberflächenmodell erlaubt eine einfache Relation der Objekthöhen zur Basishöhe des Geländes und ist Voraussetzung für einige Analysen. Wo immer die Geländemorphologie geeignet ist, Phänomene des Waldmodells zu erklären, wird sie für sich, oder zusammen mit diesem, geostatistischen Analysen unterzogen.

[0024] Der Objektraum beschreibt das zu untersuchende Volumenobjekt geometrisch und topologisch topometrisch, morphometrisch, ggf. geodätisch. Er ist also der untersuchte Raum, durch welchen sich das zu untersuchende Objekt selbst räumlich definiert. Er wird vor den Analysen in einem beliebigen, dem Untersuchungsgegenstand angemessenen Koordinatensystem anhand von n-dimensionalen Koordinaten diskret, also durch Höhen- oder Abstandsmessungen, re-

lativ oder absolut definiert. Für den Beispielsfall, Vegetationsbestände, ist der Objektraum im engeren Sinn der Bestandeswuchsraum, welcher eine Untermenge des mit der Atmosphäre gefüllten Raumes oberhalb der Landoberfläche ist. Als Bestandeswuchsraum gilt hierbei derjenige Raum der Atmosphäre, welcher durch Phytomasse angefüllt oder von ihr geprägt ist. Dieser Bestandeswuchsraum ist gegenüber der umgebenden Atmosphäre abgrenzbar durch eine (eher gedachte als physikalisch definierbare und räumlich exakt erfassbare) Grenzschrift. Im weiteren Sinn umfasst der Objektraum auch einen Teil der Umgebung, in welche das eigentliche Untersuchungsobjekt eingebettet ist. Im bevorzugten Beispielsfall ist die Umgebung das Gelände oder dessen Geländeoberfläche, ggf. inklusive weiterer Vegetation, aber auch auf dem Gelände befindliche andere natürliche und künstliche Objekte, sowie die Atmosphäre.

[0025] Das digitale Modell des Objektraums wird in den verschiedenen Modulen des Verfahrens- und Softwarepakets TREESCAPE unter topometrischen und morphometrischen Aspekten systematisch differenziert betrachtet

- als Träger von Punktinformationen des Objektraums
- als Träger von Linieninformationen (euklidische Distanzen) des Objektraums
- als Träger von Flächeninformationen des Objektraums
- als Träger von Volumeninformationen des Objektraums
- als Träger von Informationen der Form und Gestalt des Objektraums
- als Träger von Informationen über die Lage-, Dimensions- und Gestaltsverhältnisse der Elemente des Objektraums zueinander.

[0026] Zur automatischen Extraktion dieser Informationen aus dem digitalen Modell wird der Objektraum sowie dessen Elemente betrachtet

- als Oberfläche(n)
- als Volumenobjekt(e)
- als multiple Vertikalstichprobe in Form von Höhenprofilen (Satz oder Schar - s. u. - von Vertikalschnitten) des realen Objekts
- als multiple Horizontalstichprobe in Form von Höhenschichten (Satz oder Schar - s. u. - von Horizontalschnitten) des realen Objekts

[0027] Die unter diesen Aspekten im Objektraum gespeicherten Informationen werden durch verschiedene TREESCAPE-Module extrahiert. Dies geschieht durch Analysen

- der Oberfläche
- der einzelnen oder multiplen Stichprobe von Vertikalschnitten
- der einzelnen oder multiplen Stichprobe von Horizontalschnitten
- der Sequenz mehrerer solcher Schnitte

[0028] Dies geschieht in TREESCAPE durch

- das Auffinden lokaler Höhenextrema (Minima und Maxima)
- das Auffinden von Bildelementen (Pixeln) bestimmter absoluter Höhen
- das globale oder lokale, selektive oder systematisch oder zufällig stichprobenweise Vergleichen des Datensatzes mit Referenzdatensätzen
- für den 1D-Fall
- für den 2D-Fall
- für den 2,5D-Fall
- für den 3D-Fall
- das räumliche Inbezugsetzen von Punkten, Linien, Flächen und Körpern innerhalb desselben Datensatzes oder zwischen verschiedenen Datensätzen, wobei die Datensätze entweder desselben oder unterschiedlichen Ursprungs oder Typs (siehe unten) sein können.

[0029] Voraussetzung für Datensätze, auf welche TREESCAPE anwendbar ist, ist lediglich, dass sie Rasterdatensätze mit Rasterelementen $z(x, y)$ sind, also als n-dimensionale Bilder im weitesten Sinne (also als zweidimensionale, dreidimensionale, aber auch mehrdimensionale Datenspeicher) dargestellt werden können. Ihnen ist lediglich gemeinsam, dass ihnen vorzugsweise in einem orthogonalen und äquidistanten (ebenen oder räumlichen) Raster angeordnete numerische Daten, auch Vektoren, in einem Standardformat, vorzugsweise ASCII, zugrunde liegen. Diese können sein:

- Höhenmodelle: digitale Modelle der räumlichen (v. a. dimensional, morphologischen, strukturellen) Gegebenheiten anhand von Höhenmessungen des Objektraums (auch dessen Oberflächen)
- Spektralmodelle: digitale Modelle der spektralen Eigenschaften des Objektraums (auch dessen Oberflächen), vorzugsweise in für den Aufnahmegegenstand und für die Aufgabenstellung besonders geeigneten Ausschnitten des elektromagnetischen Spektrums (Spektralbereich)
- Eigenschaftsmodelle: digitale Informationen aller Art, die räumlich (also mindestens nach Lage oder Höhe) kodiert (räumlich referenziert bzw. georeferenziert) sind

[0030] Digitale Modelle des Typs "Eigenschaftsmodell" sind keinem eindeutigen Typus oder Datentyp zuzuordnen, denn jegliche Eigenschaft jeglichen Merkmals kommen in Betracht, in solchen Datenspeichern abgelegt zu werden, sofern sie räumlich kodierbar sind. Die alphanumerischen Daten können jede Art Skalierung haben.

[0031] Digitale Modelle des Typs "Höhenmodell" werden in TREESCAPE unter dem Sammelbegriff "morphographische Modelle" zusammengefasst, weil sie ein Abbild der räumlichen Gegebenheiten des Untersuchungsobjekts sind.

[0032] Methoden zur Gewinnung morphographischer Modelle sind entstanden z. B. durch Laserscanning, Radarinterferometrie, Photogrammetrie. Da sie unterschiedlichen Spezialgebieten der Fernerkundung entstammen, ihnen aber die Aufzeichnung der räumlichen Charakteristika eines Objekts gemeinsam ist, werden sie zweckmäßigerweise unter dem neuen Begriff "morphometrische Fernerkundungsmethoden" zusammengefasst.

[0033] Digitale Modelle des Typs "Spektralmodell" werden in TREESCAPE unter dem Sammelbegriff "spektrographische Modelle" zusammengefasst, weil sie ein Abbild der spektralen Gegebenheiten (der reflektierten oder emittierten elektromagnetischen Strahlung) des Untersuchungsobjekts sind.

[0034] Methoden zur Gewinnung spektrographischer Modelle sind z. B. Photographie, Multispektralscanning. Da sie unterschiedlichen Spezialgebieten der Fernerkundung entstammen, ihnen aber die Aufzeichnung zunächst der spektralen Charakteristika eines Objekts gemeinsam ist, werden sie zweckmäßigerweise unter dem neuen Begriff "spektrometrische Fernerkundungsmethoden" zusammengefasst.

[0035] Abtastungsmethoden der Objekte durch Strahlung werden üblicherweise "aktive Fernerkundungsverfahren" genannt. Rekonstruktionen der Objektmorphologie über einen Zwischenschritt, wie im Fall der Photogrammetrie durch Parallaxenmessungen in Fotographien, werden üblicherweise "passive Fernerkundungsverfahren" genannt.

[0036] Für die Erzeugung der für den Einsatz von TREESCAPE benötigten digitalen Objektmodelle ist unerheblich, ob dafür aktive oder passive, primär morphometrische oder primär spektrometrische Fernerkundungsmethoden eingesetzt wurden. Entscheidend ist die Qualität des digitalen Modells, also eine möglichst wirklichkeitsgetreue Wiedergabe des zu untersuchenden Objekts, sowie die Qualität weiterer Hilfsdaten.

[0037] Weitere Hilfsdaten sind im Fall von Vegetationsbeständen z. B. digitale Geländemodelle (DGM) sowie weitere alphanumerische oder grafische, vorzugsweise bereits geokodierte, Attributdaten je nach Bedarf. Attributdaten können in diesem Fall Information über das Untersuchungsobjekt selbst oder die Umgebung des Untersuchungsobjekts (z. B. naturräumlichen Gegebenheiten des Standorts oder der Atmosphäre) sein, aber auch Informationen über beispielsweise die biogeographische Region und/oder die potentielle natürliche Pflanzengesellschaft und/oder die vorherrschenden (und somit im Untersuchungsdatensatz wahrscheinlich aufgezeichneten und folglich zu identifizierenden) land- und forstwirtschaftlichen Behandlungsmethoden und/oder die lokale oder regionale Kulturgeschichte der Landnutzung und des Landbaus. Für andere Untersuchungsobjekte als Vegetationsbestände gilt Entsprechendes. Über die Art der hinzuzuziehenden Attributdaten und -informationen entscheiden die Auswerter und ihre Auftraggeber im Einzelfall.

[0038] Bei multitemporalen Untersuchungen oder bei Untersuchungen von Datensätzen desselben Aufnahmezeitpunktes von mehreren Teiloberflächen des Untersuchungsobjekts aus Aufnahmesystemen mit multipler Eindringtiefe in den Objektraum (wie sie z. B. bei Laserscanning unter Aufzeichnung mehrerer Echos desselben Abtastpulses, also von Teilreflexionen von mehr als einer Schicht des Objektraums, möglich sind), können zwei oder mehr Datensätze miteinander verglichen werden. Für Vergleiche kommen Datensätze desselben Typs oder verschiedener Typen in Frage.

[0039] Unterschiedliche Datensätze des selben Typs wären

- zwei oder mehr morphographische Datensätze, die mit gleicher Methode, z. B. photogrammetrisch, durch Laserscanning, durch Radarinterferometrie etc. erzeugt wurden
- zwei oder mehr spektrographische Datensätze, die mit gleicher Methode, z. B. durch Multispektralscanning, durch Photographie etc. erzeugt wurden

[0040] Unterschiedlichen Typs wären Datensätze, wenn von mindestens zwei verwendeten Datensätzen der eine Datensatz morphographischen, ein anderer spektrographischen Charakter hätte.

[0041] TREESCAPE verarbeitet Datensätze beiderlei Typs und extrahiert die wesentlichen Informationen aus morphographischen Datensätzen.

[0042] Sollen spektrographische Datensätze ebenfalls mit TREESCAPE verarbeitet und in Beziehung zu morphographischen Datensätzen gesetzt werden, so sind spektrographische Datensätze zunächst mit herkömmlichen Auswertungsverfahren zu klassifizieren und die Resultate der Klassifikationen in Raster- oder Vektordatensätze zu transformieren.

[0043] In Rasterdatensätze sind vor der Weiterverarbeitung mit TREESCAPE zu transformieren alle auf eine Fläche bezogenen Informationen aus dem spektrographischen Datensatz. In Vektordatensätze sind vor der Weiterverarbeitung mit TREESCAPE zu transformieren alle auf Linienelemente bezogenen Informationen aus dem spektrographischen Datensatz. Die Rasterdatensätze und Vektordatensätze mit den Informationen aus den Klassifikationen der spektrographischen Datensätze werden von TREESCAPE mit den für den jeweiligen Datentyp geeigneten Modulen weiterverarbeitet (siehe die Verfahrensbeschreibung des Verfahrens- und Softwarepakets TREESCAPE).

Weiterverarbeitung der Resultate in anderen Systemen, v. a. in Auswerte-Software

[0044] Die graphischen und alphanumerischen Resultate der einzelnen Verarbeitungsschritte von TREESCAPE-Modulen können wiederum in Auswertesysteme einbezogen werden, welche den Import und die Integration solcher Daten in dort vorhandene Verarbeitungs- und Ausgaberroutinen ermöglichen. Dabei ist in erster Linie zu denken an digitale Bildverarbeitungssysteme (z. B. ERDAS Imagine, ER-Mapper und andere, wegen problemloser Quellcodeintegration bevorzugt aber ENVI), an CAD-Systeme (z. B. AutoCAD, INTERGRAPH Microstation) sowie vor allem Informationssysteme in welchen typischerweise Attributdaten mit geographischen Datenbeständen verknüpft werden, z. B. der Gattungen geographische Informationssysteme (GIS), Landinformationssysteme, Landschaftsinformationssysteme (LIS) und Managementinformationssysteme mit solchen Eigenschaften (z. B. Arc/Info, ArcView, SICAD). Zu denken ist auch an Software zur allgemeinen (statistischen) Datenanalyse (z. B. SAS, JMP, SPSS).

[0045] Die Ausgabe v. a. der alphanumerischen TREESCAPE-Resultate in Dateien eines Standarddatenformats, vorzugsweise ASCII, gewährt hierfür weitestgehende Flexibilität. Die graphischen und alphanumerischen Resultate von

TREESCAPE können auch direkt in Textverarbeitungssysteme (z. B. Microsoft WORD, WordPerfect, StarOffice, TEX), Desktop-Publishing-Systeme (z. B. ADOBE FrameMaker, ADOBE PageMaker, QuarkXPress) importiert und dort zu optisch ansprechenden Berichten weiterverarbeitet werden. Das Layout ist übersichtlich gegliedert in Textteil und Bildteil und bei jedem Analyseverfahren stets gleich. Diese Einheitlichkeit der Layouts (siehe die Abbildungen des Anhangs) macht die Resultate unterschiedlicher Untersuchungsgebiete leicht vergleichbar. Die Verwendung universeller Datenformate der graphischen Ausgabedateien der TREESCAPE-Resultate (vorzugsweise PostScript, EPS, TIFF; GIF, JPEG) sowie der alphanumerischen Resultate (vorzugsweise ASCII) gewähren weitestgehende Flexibilität für die Weiterverarbeitung und weiteren Gebrauch.

[0046] Die allen Analysen zugrunde liegende Grenzschicht (bzw. bei multitemporalen oder die Außenschicht durchdringenden Aufnahmeverfahren für die Erzeugung des digitalen Modells: die zugrunde liegenden Grenzschichten) des Objektraums kann zum einen eine Grenzfläche sein (im Fall von 2D-, 2,5D- oder 3D Datensätzen) oder eine Grenzlinie (im Fall von 1D- oder 2D-Datensätzen). Die jeweilige Grenzschicht kennzeichnet sich durch Dimension, Rauigkeit und Ausrichtung im Raum. Die Betrachtung und fachliche Beurteilung der Grenzschichten der untersuchten Objekte erfolgt entweder für sich selbst oder in Bezug auf andere Objekte bzw. deren Grenzschicht. Die Grenzschicht kann glatt (das heißt: von sehr geringer Rauigkeit) sein. Sie kann aber auch sehr rau sein.

[0047] Rauigkeit (oder Rauheit) ist hierbei definierbar bei Betrachtung von sowohl Amplituden als auch Frequenzen der räumlichen Veränderungen (geometrischen oder topometrischen Variationen) der Grenzschicht. Siehe hierzu auch Stoyan & Stoyan.

[0048] Rauigkeit wird dabei betrachtet in sowohl vertikaler wie auch horizontaler Sichtweise der Grenzschicht. Geringe Rauigkeit hat eine Grenzschicht dann, wenn ihre Länge bzw. Fläche gegen Länge bzw. Fläche der Grenzschicht, auf die sie sich bezieht, zahlenmäßig konvergiert. Hohe Rauigkeit hat eine Grenzschicht dann, wenn ihre Länge bzw. Fläche stark von Länge bzw. Fläche der Grenzschicht, auf die sie sich bezieht, zahlenmäßig abweicht.

[0049] Undulation ist ein Ausdruck für die Welligkeit eines Polygons.

[0050] Amöboidalität bezeichnet bei Flächen starke Abweichungen von einfachen konvexen Formen.

[0051] Das zu untersuchende Objekt ist durch ein digitales Modell repräsentiert. Das digitale Modell kann folgende Charakteristika haben:

Zweidimensionaler (2D- oder 2,5D-) Fall (Oberflächenmodell)

Höhe h in Abhängigkeit von der Lage (Ostwert x , Nordwert y) für eine Fläche

Dreidimensionaler (3D-) Fall (echtes Volumenmodell oder Quasi-Volumenmodell)

Merkmalsausprägung m in Abhängigkeit von der Raumkoordinate (Ostwert x , Nordwert y ,

Höhe über Bezugsniveau h) für einen Körper oder ein Volumenobjekt

[0052] Beim echten Volumenmodell ist das Volumen vollständig (normalerweise diskret) systematisch erfasst. Es sind jedem Ort gleichmäßig viele Attributwerte je Höhenintervall zugeordnet. In jeder Matrixzelle befindet sich ein vieldimensionaler Vektor mit regelmäßigen Wertintervallen, bzw. mehrere Vektoren mit stets gleichmäßigen Längenintervallen. Beim Quasi-Volumenmodell variiert die Zahl der Attributwerte von Ort zu Ort. In den Rasterzellen stehen Vektoren mit unregelmäßigen Intervallen, bzw. mehrere Vektoren mit ungleichen Längen.

[0053] Beispiel: Ein Volumenmodell liefern z. B. Tomographen der Art wie sie in der Medizin mit Kernspingeräten im Einsatz sind. Ein Laserscannersystem, welches mehr als ein Echo des ausgesendeten Signals aufzeichnet, liefert ein Quasi-Volumenmodell, wenn die Reflexionen nicht stets in denselben Höhen, also nicht in konstanten Intervallen, erfolgen. Dies ist bei der Abtastung von Wäldern der Fall, sofern die Strahlung nicht die Rinde und das Holz der Pflanzen gleichmäßig durchdringt, sondern an der Oberfläche von Laub- oder Nadelblättern, Ästen oder dem Stamm reflektiert wird und dadurch ungleiche Anzahlen von Höhenmessungen je Messort in unterschiedlichen Höhen aufgezeichnet worden sind.

[0054] Aus jedem dieser beiden Grundmodelle lassen sich in beliebiger Richtung (vorzugsweise in orthogonalem Sinn: West-Ost, also zeilenweise oder Nord-Süd, also Spaltenweise) Höhenprofile extrahieren und Einzelanalysen unterziehen. Diese bilden eindimensionale Datensätze (Höhenprofile).

(a) Eindimensionaler (1D-) Fall

[0055] Ein Höhenprofil repräsentiert einen Vertikalschnitt durch den Datensatz. Folglich ist das Datenmodell: Höhe h in Abhängigkeit von der Lage (Ostwert x oder Nordwert y) für eine Strecke.

[0056] Eindimensionale Datensätze werden auch geliefert durch linear abtastende Fernerkundungssensoren, z. B. durch Laserprofilung von Laserprofilrecordern.

[0057] Im 3D-Fall existieren an jedem Ort eines der vorstehend genannten Modelle mehrere Höhenwerte (sofern die Höhe dort nicht $h = 0$ m beträgt. Mehrere Höhenwerte existieren auch bei Datensätzen aus solchen Fernerkundungssensoren, die von einem Punkt mehr als einen Höhenwert aufzeichnen. Beispiel: Laserscanning, das nicht nur das erste oder das letzte Echo eines ausgesendeten Signals (also die Höhe an der Oberfläche bzw. die Höhe des letzten Hindernisses zwischen eigentlicher Oberfläche und der Bezugsebene) sondern auch Echos von Teilreflexionen aufzeichnet.

Datenformat

[0058] Die zu untersuchenden Datensätze liegen im Idealfall in einem Standarddatenformat, vorzugsweise ASCII, gespeichert vor. Jede Datei ist in drei Spalten gegliedert. Jeder Messpunkt ist durch die Koordinaten x , y und z (Ostwert, Nordwert, Höhe), vorzugsweise im Landeskoordinatensystem, in der Lage auf ganze Meter genau und in der Höhe auf Dezimeter genau, dokumentiert. Diese drei Koordinatenwerte bilden eine Zeile der Datei. In der ersten Spalte befindet sich vorzugsweise der Ostwert eines Messpunktes, in der zweiten der Nordwert und in der dritten dessen Höhe. Die Höhenangabe bezieht sich entweder auf das Meeresniveau oder, bei Vorhandensein eines digitalen Geländemodells, auf den Boden (oder ein beliebiges sonstiges Bezugsniveau).

DE 101 60 179 A 1

[0059] Veranschaulicht anhand eines Objekts mit einer Grundfläche von 1000×1000 Einheiten (z. B. in Metern):

	Ostwert	Nordwert	Höhe	
Punkt 1 (Zeile 1, Spalte 1)	0001	0001	856,8	5
Punkt 2 (Zeile 1, Spalte 2)	0002	0001	843,5	
Punkt 3 (Zeile 1, Spalte 3)	0003	0001	837,9	10
...				
...				
Punkt 1.000.000 (Zeile 1000, Spalte 1000)				15
	1000	1000	495,4	

Die Analysewerkzeuge für solche Datensätze

[0060] TREESCAPE umfasst Verfahren und Module zur Analyse von zwei-, zweieinhalb- und dreidimensionalen Datensätzen, sowie von eindimensionalen Datensätzen.

[0061] Die genannten Methoden sind skaleninvariant, d. h., dass der Maßstab, unter welchen ein Untersuchungsgegenstand aufgenommen wurde, unerheblich ist. Anwendungen auf submikroskopische Objekte bis hin zu kosmischen Objekten sind denkbar, in Betracht gezogen und in die Ansprüche aus diesem Antrag (siehe dort) einbezogen. Wie überall in diesem Text wird das bevorzugte Beispiel von Pflanzenbeständen (anhand von Baumbeständen) gebraucht um die Methoden und Anwendungen zu beschreiben. Jegliches andere Objekt, submikroskopisch bis hypermakroskopisch skaliert, ist ebenso denkbar.

[0062] Diese Verfahren und Module (Werkzeuge) lassen sich gliedern mit folgender Systematik:

- 1) Einlesen der zu untersuchenden Daten
- 2) Datenvorverarbeitung
- 3) Visualisierungen der Datensätze
 - Statische Visualisierungen
 - Animierte Visualisierungen
- 2) Analysen mehrdimensionaler Datensätze
 - Punktorientierte Analysen
 - Flächenorientierte Analysen
 - Oberflächenorientierte Analysen
 - Körper- bzw. volumenobjektorientierte Analysen
- 3) Analysen eindimensionaler Datensätze
 - Geometriestatistische Verfahren
 - Verfahren der Signalanalyse
 - Verfahren der klassischen digitalen Bildverarbeitung
 - Andere Verfahren

Die Werkzeuge (Verfahrens- und Programmmodule) im Detail

[0063] Die Werkzeuge und Module des Verfahrenspakets TREESCAPE werden im folgenden in dieser Systematik genannt und ihre Funktion in Kürze skizziert:

Einlesen der zu untersuchenden Daten

[0064] Datensätze im oben genannten Format werden eingelesen, so dass sie mit den Modulen von TREESCAPE verarbeitet werden können.

[0065] Datenvorverarbeitung: Konformitäts- und Konsistenzprüfung der Datensätze, erforderlichenfalls mit anschließendem Reparaturversuch inkonformer und/oder inkonsistenter Dateien.

[0066] Die eingelesenen Datensätze werden auf Konformität mit den Vorgaben und auf innere Konsistenz überprüft und soweit als ohne erhebliche Verfälschung möglich, korrigiert. Überprüft werden:

- Nummerierung der Zeilen und Spalten
- Konformität des Formats der Zellenwerte mit den Erfordernissen der TREESCAPE Software: Überprüfen des Formats der eingelesenen Datensätze auf korrektes Datenformat (Anzahl Vorkomma- und Nachkommastellen) sowie Einhaltung von Grenzwerten (Lokalisierung innerhalb von zuvor gesetzten Rahmenwerten).
- Vollständigkeit der Zeilen: (Auftreten von fehlenden Zellenbelegungen würde zu einer Verschiebung der Rastergeometrie führen). Fehlende Zeilen oder mehrfach vorhandene Zeilen werden identifiziert, angezeigt und in eine Datei in einem Standardformat, vorzugsweise ASCII, geschrieben. Dies geschieht anhand der Originalnummerie-

5 rung der eingelesenen Datenzeilen.

[0067] Fehlende Zeilen werden zu reparieren versucht wie folgt: fehlt eine einzelne Zeile oder zwei aufeinanderfolgende benachbarte Zeilen, so werden die orthogonal oberhalb und unterhalb der leeren Zellen gelegenen Zellenwerte addiert und durch zwei dividiert. Das Ergebnis wird in die eine oder in die zwei orthogonal zwischen beiden Hilfszellen gelegenen Zellen geschrieben. Diese Überprüfung geschieht anhand der Originalnummerierung der eingelesenen Datenzeilen.

10 – Vollständigkeit der Spalten: Prüfung und Reparaturversuch wie für Zeilen.

[0068] Entspricht ein Zelleneintrag oder die Einträge mehrerer Zellen nicht den Vorgaben oder es fehlen mehr als zwei Zeilen bzw. Spalten in Folge, so erfolgt die Meldung, dass der Datensatz inkompatibel mit den Voraussetzungen ist. Die fraglichen Zellen oder Zeilen bzw. Spalten werden angezeigt und in eine Datei in einem Standardformat, vorzugsweise ASCII, geschrieben.

15 [0069] Entspricht ein Datensatz den Voraussetzungen, so erfolgt eine entsprechende Meldung. Er steht dann für alle weiteren Verarbeitungen zur Verfügung. Der Auswerter wird aufgefordert, der Datei einen Namen zu geben.

(b) Visualisierungen der Datensätze

(c) Statische Visualisierungen

20 – Erzeugung eines gefärbten Oberflächenmodells (Shaded Surface, Fig. 1) mit oder ohne das Objekt umgebendes Messgitter (z. B. drei Achsen: Ostwert, Nordwert, Höhe), ggf. auch seiner Umgebung (bei Vegetation vorzugsweise in grüner Farbe)

25 – Erzeugung eines Oberflächenmodells mit höhenkodierter Farbskala TREESCAPE gefärbt, mit oder ohne Messgitter. TREESCAPE folgt in der Farbwahl der natürlichen Farbwahrnehmung, indem es den abgedeckten Höhenbereich in der Abfolge der Spektralfarben des sichtbaren Lichts (violett, blau, grün, gelb, orange, rot zuzüglich schwarz und weiß) verwendet. Jede Farbe ist dabei einem Höhenintervall zugeordnet, wobei innerhalb jeder Farbe noch Abstufungen nach Tönung, Sättigung etc. der Farbe in plausiblen Stufen verwendet werden, wodurch die visuelle Aufnahme der Modelloberfläche bzw. des Modellraumes und ggf. dessen visuelle Auswertung erleichtert wird.

(d) Animierte Visualisierungen

35 – Erzeugung eines um die Vertikalachse (falls erforderlich auch um jede andere Achse) rotierenden Oberflächenmodells (Fig. 2) beliebiger Repräsentation, vorzugsweise als schattierte Oberfläche (bei Vegetation vorzugsweise in grüner Farbe mit Farbverlauf mit zunehmender Höhe) mit und ohne das Objekt umgebendes Messgitter. Speichern dieses rotierenden Modells in einem Standard-Multimediaformat (vorzugsweise QuickTime® der Firma APPLE)

40 – Erzeugung eines um die Vertikalachse (falls erforderlich auch um jede andere Achse) rotierenden Oberflächenmodells beliebiger Repräsentation, vorzugsweise als schattierte Oberfläche (höhenkodiert mit spezieller TREESCAPE-Farbskala) mit und ohne das Objekt umgebendes Messgitter. Speichern dieses animierten Modells in einem Standard-Multimediaformat (vorzugsweise QuickTime® der Firma APPLE).

45 – Positionieren des Beobachtungsstandpunktes an einer beliebigen Koordinate innerhalb des Modells. Von dort aus Betrachtung der Umgebung in perspektivischer Sichtweise im horizontalen und vertikalen Vollkreis. Optional: Speichern der Modell-Besichtigung als Animation in einem Standard-Multimediaformat (vorzugsweise QuickTime® der Firma APPLE).

50 – Reisen durch den Modellbereich auf einer beliebigen Linie. Die Linie kann entweder vorgewählt werden oder per Tastatur- oder Mauseingabe in Echtzeit bestimmt werden. Beobachtung der Umgebung in jede Richtung, wobei der Horizontal- und Vertikalwinkel vorgewählt oder per Tastatur- oder Mauseingabe in Echtzeit bestimmt werden kann. Optional: Speichern der Modell-Besichtigung als Animation in einem Standard-Multimediaformat (vorzugsweise QuickTime® der Firma APPLE).

Analysen (im eigentlichen Sinn) der Datensätze

55 [0070] Nach der visuellen Inspektion und Rekognoszierung der zu untersuchenden Datensätze können die folgenden Analysen und Ergebnisgenerierungen erfolgen.

[0071] Für die Auswahl der geeignetsten Methoden, umgesetzt durch das Softwarepaket TREESCAPE, wurden spezielle Werkzeuge für die Arbeit am Bildschirm programmiert. Eines dieser grundlegenden Werkzeuge ist der Cursor. Er kann so eingestellt werden, dass er (z. B. in der Gestalt eines Kreuzes) an demjenigen Bestandteil eines betrachteten Objekts "klebt", an welches er positioniert wurde, als der Befehl zum "Kleben" erteilt wurde. Er kann dann mit dem Eingabegerät bewegt werden und bleibt stets an genau diesem Objektbestandteil haften, selbst wenn der Auswerter versehentlich diesen Bestandteil verlässt. Gleichzeitig wird auf dem Bildschirm die Raumkoordinate im jeweils verwendeten Koordinatensystem kontinuierlich angezeigt. Fig. 3 zeigt dies am Beispiel eines Höhenprofils. Zum Studium der Wirkungsweise der Verfahren und zur Überprüfung der Resultate (welche in der Natur sehr komplex sein können) können mit TREESCAPE Referenzdatensätze erzeugt werden.

65 [0072] Eindimensionale synthetisch generierte Referenzdatensätze zeigen Fig. 22 (Typ Fichte/Douglasie/Cryptomeria/Chamaecyparis), Fig. 23 (Typ Nicht-Fichte/Douglasie/Cryptomeria/Chamaecyparis), Fig. 24 (Mischbestandsprofil). Einen zweidimensionalen synthetisch generierten Referenzdatensatz zeigt Fig. 25

Bevorzugte Analysemethoden im Verfahrenspaket TREESCAPE

- Berechnung von beschreibenden oder schließenden Statistiken basierend auf diesen Datensätzen (z. B. Lage- und Höhenkoordinaten): vorzugsweise Mittelwerte, Streuungsmaße (z. B. Standardabweichung, Varianz), Perzentile, varianz- und kovarianzanalytischen Methoden, Korrelationen, Regressionen, Wahrscheinlichkeitsberechnungen von Vorkommen oder Fehlen von Merkmalen etc., bezogen auf die tatsächlich bearbeitete Fläche oder auf eine Einheitsfläche (z. B. Hektar, Quadratkilometer) 5
- Analysen nach Art geostatistischer Methoden (Geostatistik), Methoden der Analysen räumlicher Daten (Räumliche Statistik) sowie Analysen allgemeiner statistischer Methoden über die planimetrischen Verteilungen von relevanten Objektmerkmalen (also nur lagebezogen, mit oder ohne Berücksichtigung der Baumhöhenäquivalente – d. h. ohne Berücksichtigung der Höhen der Stammfußpunkte über NN, über Geländeniveau oder einem anderen Bezugsniveau) der Punktmuster der Baumpositionenäquivalente 10
- Analysen nach Art geostatistischer Methoden (Geostatistik) (wie z. B. bei Davis beschrieben), Methoden der Analysen räumlicher Daten (Räumliche Statistik) (wie z. B. bei Cressie beschrieben), sowie Analysen allgemeiner statistischer Methoden (wie z. B. bei Sachs beschrieben) über die räumlichen Verteilungen von relevanten Objektmerkmalen (lagebezogen mit oder ohne Berücksichtigung der Baumhöhenäquivalente und unter Berücksichtigung der Höhen der Stammfußpunkte über NN, über Geländeniveau oder einem anderen Bezugsniveau) der Punktmuster der Baumpositionenäquivalente 15
- Analysen nach Methoden der klassischen mathematischen Morphologie und digitalen Bildverarbeitung 20
- Analysen nach Methoden der Form- und Gestaltstatistik
- Analysen nach Methoden der Objekt-, Muster- und Formerkennung
- Analysen der Charakterisierung von Kurven und Oberflächen
- Analysen nach Arten der Objektmetrologie
- Einsatz von Methoden des künstlichen Sehens und Erkennens wie sie in der Robot Vision eingesetzt werden 25

Weiterverwendung der erzeugten Resultate der Analysen

- Klassifikation der untersuchten Objekte anhand der Resultate vorgenannter Analysen unter den jeweiligen fachspezifischen Gesichtspunkten
- Schätzung der Wahrscheinlichkeiten von Vorkommen, Nichtvorkommen, Häufigkeiten etc. von Objekten (welche direkt in den verwendeten Datensätzen erkennbar oder zumindest implizit in ihnen dokumentiert und zu detektieren sind) an sich oder von qualitativen oder quantitativen Merkmalen oder Eigenschaften solcher Objekte 30
- Schließende (konkludierende) Schätzungen von Anzahlen, Dimensionen, Qualitäten, Merkmalen, Eigenschaften etc. solcher direkt oder implizit in den ausgewerteten Datensätzen vorhandenen Objekte für den durch Vollaufnahme oder Stichproben untersuchten n-dimensionalen Raum (z. B. auf objekt- oder objektgruppen- oder objektklassenbezogener, lokaler, landschaftlicher, regionaler oder globaler Ebene betrachtet) per se (wissenschaftlich) oder unter dem Aspekt der Ressourcenerkundung (Prospektion, ökonomisch oder wissenschaftlich motiviert), Ressourcennutzung (Exploitation), Ressourcenschutz, also Ressourcenplanungen im weitesten Sinn 35
- Ursachenanalysen von Vorkommen, Nichtvorkommen, Mengen, Massen, Volumina, Qualitäten der bezeichneten, direkt oder implizit in den Datensätzen zu identifizierenden oder zu schätzenden Objekte zu einem konkreten Zeitpunkt 40
- Ursachenanalysen der Veränderungen von Vorkommen, Nichtvorkommen, Mengen, Massen, Volumina, Qualitäten der bezeichneten, direkt oder implizit in den Datensätzen zu identifizierenden oder zu schätzenden Objekte in einem Zeitintervall 45

Analysen mehrdimensionaler Datensätze

Punktbezogene Analysen

- Einmessen der Objektpositionenäquivalente (d. h.: lokale Höhenmaxima des Datensatzes, Zentrum, geometrischer Mittelpunkt oder Schwerpunkt der jeweiligen Einzelobjekte oder eines in sie oder an sie geschmiegtten Kreises oder einer konvexen Hülle aus einer einfachen geometrischen Form wie Ellipse oder n-Eck wie z. B. Quadrat, Rechteck, Dreieck) und Abspeichern deren planimetrischer Koordinaten x, y in eine Datei in einem Standardformat, vorzugsweise ASCII. 50

[0073] Im bevorzugten Fall von Wäldern entsteht hierdurch eine digitale Karte der sogenannten Stammfußpositionen der Bäume eines Waldes. Sie bildet eine wichtige Grundlage für eine Vielzahl weiterer Analysen über die Verteilungsmuster von Bäumen, Lücken im Kronendach des Pflanzenbestandes, sowie entweder direkt oder indirekt über andere Pflanzen- und Tierarten im Untersuchungsgebiet. Jedes beliebige Attribut einer solcherart lokalisierten Pflanze kann als Marke an die Raumkoordinate angefügt werden. Solche Attribute können sein: Baumhöhe, Baumkronendurchmesser, Baumart, Baumartengruppe, Vitalität, Kraft'sche Baumklasse, Alter, Altersklasse, Wuchsklasse, Ertragsklasse, Schad- oder Krankheitsstufe verschiedenster Ursachen (aus separaten Schadensinventuren ermittelt oder aus dem digitalen Oberflächenmodell geschätzt), Güteklasse des Stammholzes, Schaftformzahl, Holzvolumen, Holzmasse des Stammes oder des Kronenraums, Biomasse des Baumes (insgesamt oder differenziert nach Wurzel-, Stamm-, Kronenholz-, Laubmasse) und andere forstwirtschaftliche, forstwissenschaftlich, waldökologisch, biologisch, bodenkundlich, klimatologisch, meteorologisch sowie weiterer relevanter Merkmale. Entsprechendes gilt für jedes anderes Untersuchungsobjekt unter den jeweiligen fachspezifischen Gegebenheiten. 55 60 65

– Einmessen der Baumpositionenäquivalente (d. h.: lokale Höhenmaxima des Datensatzes) und Abspeichern deren planimetrischer Koordinaten x, y mit dem Attribut lokale Höhe h in eine Datei in einem Standardformat, vorzugsweise ASCII

– Kartographische Darstellung der eingemessenen Positionen (ohne Anschreiben der Höhenwerte oder anderer Attribute an die Positionen) in einem planimetrischen Koordinatensystem (X-Achse: Spalten, Y-Achse: Zeilen), zusammen mit ausgewählten alphanumerischen Resultaten der im weiteren beschriebenen Analysen wie in Fig. 4 (mit bereits unterlegtem farbkodierten Höhenmodell, s. u.) am Beispiel eines Waldbestandes illustriert

– Kartographische Darstellung der eingemessenen Positionen mit Anschreiben der Höhenwerte oder anderer Attribute an die Positionen, oder durch ikonische Kodierung der Zugehörigkeit eines Individuums oder einer Gruppe mehrerer Individuen zu fachspezifisch sinnvollen Klassen – z. B. zu Höhenklassen, Durchmesserklassen, Volumenklassen, Objekt-Typen, Vitalitätsklassen) bei der Darstellung der Positionen) in einem planimetrischen Koordinatensystem (X-Achse: Spalten, Y-Achse: Zeilen), zusammen mit ausgewählten alphanumerischen Resultaten der im weiteren beschriebenen Analysen wie in Fig. 5 am Beispiel eines Waldbestandes illustriert.

– Ermitteln des potentiellen maximalen individuellen Standraums, z. B. durch Berechnung von Voronoi-Polygonen, um alle Baumpositionen herum. Die Voronoi-Polygone werden farbig dargestellt, so dass benachbarte Polygone unterschiedliche Farben haben (siehe Fig. 26). Alternativ können Größenklassen der Polygonflächen gebildet und farblich kodiert werden. Die Polygonkoordinaten werden unter Wahrung des topologischen Bezugs der Knotenpunktkoordinaten zu einem Polygon in eine Datei geschrieben. Das Resultat kann geplottet werden. Voronoi-Polygone zeigen den potentiell verfügbaren Standraum eines jeden Baumes an. Durch Überlagerung mit einer Kronenprojektionskarte des Waldes wird die reale Nutzung des potentiellen Standraums ermittelt. Aufgrund dieser Erkenntnisse können Entscheidungen zur Planungen waldbaulicher Maßnahmen auf eine solide Basis gestellt werden und deren Vollzug nach Ablauf eines Zeitraums quantitativ und schnell ermittelt und bewertet werden.

[0074] Forstwirtschaftlich relevante Werte sind Bestandesmittelhöhen (Kramer & Akça). Diese lassen sich automatisch unmittelbar aus diesen Höhenmessungen eines ganzen Waldes schätzen. Dieser direkt Weg liefert Mittelhöhen ohne den Umweg über Durchmesserkorrelationen der Stämme in 1,3 m Höhe über dem Waldboden (Brusthöhendurchmesser BHD) in den noch immer weltweit verbreiteten terrestrischen Waldaufnahmen (in Deutschland: Forsteinrichtung).

[0075] Bei Bedarf zusätzlich:

– Unterlegung des Lageplans der Positionen mit einem farbkodierten Höhenmodell des Objektraums oder dessen Oberfläche (nach Art eines Range Image) wie in Fig. 4 dargestellt, unter Verwendung einer dem Auswertungsziel zweckmäßig angepassten Farbtabelle, vorzugsweise der TREESCAPE-Farbtabelle (mit Spektralfarben zuzüglich schwarz und weiß, mit metrischen Abstufungen).

Flächenorientierte Analysen

– Analysen nach den bekannten Methoden der digitalen Bildbe- und -verarbeitung zur Verbesserung, Merkmalsextraktion, Klassifikation und Evaluierung des Datensatzes, auch in semantischer Hinsicht. Darüberhinaus:

– Kartierung der Pixel mit der Höhe $h = 0$ m (Nullstellen- oder Lückenkartierung)

– Berechnung zweckmäßiger Statistiken (Gestaltsstatistiken und andere Statistiken) unter den Aspekten der Aufgabenstellung

– Berechnung der fraktalen Dimension des (geschlossenen) Polygonzugs eines oder mehrerer Flächenelemente nach einem oder mehreren der bekannten Verfahren (z. B. Boxcounting). Methodenbeschreibung siehe Stoyan & Stoyan oder Steeb.

– Darstellung der Resultate auf dem Bildschirm

– Speichern der Statistiken in einer Datei (in einem universal verwendbaren Standarddateiformat, vorzugsweise ASCII), wobei die Teilresultate jedem einzelnen, durch eine Nummer identifizierten, Flächenelement eindeutig zugeordnet sind und das Gesamtergebn separat gespeichert wird

– Druckausgabe der Statistiken zusammen mit der kartographischen Darstellung der Nullstellen- bzw. Lückenkarte nach Art der Fig. 6.

[0076] Diese Analyseart ist bei dem bevorzugten Objekttyp, Vegetationsbeständen, v. a. bei Wäldern, dann sinnvoll und wichtig, wenn zuvor ein digitales Geländemodell vom digitalen Oberflächenmodell subtrahiert wurde, sodass die Lücken, Lichtungen und Blößen, aber auch Kahlflächen des Vegetationsbestandes, automatisch identifiziert, vermessen und kartiert, sowie statistisch analysiert werden können. Fig. 6 zeigt das Ergebnisblatt mit einfachen, aber aussagekräftigen Statistiken am Beispiel eines Waldes.

– Flächenhafte Segmentierung des Bildinhalts: Berechnung der Perimeter der Einzelkomponenten des Untersuchungsobjekts, Speichern der Resultate in Dateien mit einem Standarddatenformat, vorzugsweise ASCII. Methode: a) Suchen von Sattelpunkten zwischen benachbarten Objekten (hier: Bäumen). Die Sattelpunkte kennzeichnen die Objektgrenzen in der jeweiligen Richtung der Suche. b) Von jedem lokalen Höhenmaximum ausgehend wird ein Vektor zu den nächsten, übernächsten, drittnächsten, viertnächsten etc. Nachbar-Bildelementen (Ber-Nachbarschaft) berechnet. Der Suchradius ist variabel; er definiert sich wie folgt: Als eine von acht Stützstellen (Knotenpunkte) des Umfangpolygons eines Teilobjekts gilt in jeder der acht Richtungen derjenige Ort, an welchem der Steigungsfaktor des Vektors für mindestens die Hälfte der Anzahl Stützstellen des Suchradius das Vorzeichen wechselt. Die solcherart identifizierten Knotenpunkte werden eindeutig einem Objekt (demjenigen, von dessen lokalem Höhenmaximum ausgehend ein Perimeter-Knotenpunkt lokalisiert wurde) zugeordnet und die dazugehörigen Koordi-

naten in eine Datei in einem Standarddatenformat (vorzugsweise ASCII) gespeichert. Für die grafische Darstellung werden diese Knotenpunkte eines Teilobjekts durch einen in sich geschlossenen Polygonzug miteinander verbunden. Das durch dieses Umfangpolygon definierte Flächenelement wird eingefärbt. Dabei wird eine mehrfarbige Farbtabelle verwendet. Unmittelbar benachbarte Flächenobjekte erhalten unterschiedliche Farben, so dass jedes Flächenelement visuell leicht in der Gesamtheit aller Flächenelemente identifiziert werden kann.

[0077] Am bevorzugten Beispiel eines Waldes resultiert hieraus die Kronenprojektionskarte (Karte der so genannten Kronenprojektionen, also der Projektion der maximalen, horizontal geschnittenen, Baumkronenflächen auf das Geländeniveau). Eine solche zeigt Fig. 7.

- Vermessung der erzeugten Polygone (Flächenelemente und der Umfangpolygone) nach den bereits oben beschriebenen (siehe: flächenbezogene Analyseverfahren, 2D-Analyseverfahren) Methoden zur Charakterisierung von Flächenelementen in n-dimensionalen Räumen
- Zählung der erzeugten Polygone, Ermittlung deren Anzahl je Untersuchungsgebiet und je Flächeneinheit (z. B. Hektar, Quadratkilometer etc.)
- Klassifikation der erzeugten Polygone nach Dimension, Richtung und anderen fach- und aufgabenspezifisch angezeigten Kriterien wie oben (flächenbezogene Analyseverfahren, 2D-Analyseverfahren) beschrieben
- Erstellen von Statistiken nach Methoden der Gestaltstatistik
- Berechnung der fraktalen Dimension des (geschlossenen) Polygonzugs eines oder mehrerer Flächenelemente nach einem oder mehreren der bekannten Verfahren (z. B. Boxcounting). Methodenbeschreibung siehe Stoyan & Stoyan oder Steeb.
- Erstellen allgemeiner Statistiken, z. B. Berechnungen der Gesamt- und Teilflächen, Berechnen von Mittelwerten, Streuungen etc.
- Ziehen von fach- und aufgabenspezifisch relevanten Schlussfolgerungen aus den Resultaten durch Verknüpfung mit Attributen der definierten Objekte sowie mit anderen Objekten und deren Attributen mit mathematischen (v. a. statistischen, geostatistischen und anderen) Methoden
- Topometrischer und morphometrischer quantitativer Vergleich der Kronenprojektionen mit den Polygonen des maximalen individuellen Standraums (z. B. Voronoi-Polygonen, s. o.) und Ermitteln der nicht genutzten Flächen des potentiellen Standraums durch Berechnung der Differenzpolygone
- Speichern der Vertices der Differenzpolygone zwischen den Kronenprojektionen und den Voronoi-Polygonen in eine Datei unter Wahrung des räumlichen Kontexts
- Statistische Auswertung der Differenzpolygone mit den Methoden der Gestaltstatistik, Berechnung der gesamten nicht genutzten Fläche (auch auf einen Hektar normiert) sowie von Mittelwerten und Streuungen der Einzelflächen
- Graphische Darstellung der Differenzpolygone und Anzeige der alphanumerischen Resultate am Bildschirm, optionales Speichern in eine Datei eines Standardformats zur Weiterverwendung, Drucken etc.

Oberflächenorientierte Analysen

- Zerlegung des Objektraums in Höhenschichten und anschließende morphometrische und topometrische Vermessung einzelner oder mehrerer Höhenschichten, sowie anschließende Analyse der Polygone einzelner in sich geschlossener Höhenschichtlinien sowie auch der Polygone einer ganzen Schar von in sich selbst geschlossenen Höhenschichtlinien.

[0078] Eine Schar von Höhenschichtlinien wird definiert unter fachspezifischen Aspekten. Eine zu analysierende Polygonschar kann definiert werden durch ihre Zugehörigkeit zu einer thematischen (semantischen) Gruppe. Eine semantische Gruppe verbindet ihre Mitglieder durch einen Sinnzusammenhang. Ein solcher Sinnzusammenhang kann z. B. in deren Zugehörigkeit zur selben Höhe über (bzw. im selben Abstand zu) dem Bezugsniveau bestehen. Fig. 8 illustriert einen semantischen Zusammenhang am Beispiel einer Schar Höhenschichtlinien eines Waldes in der relativen Höhe $h = 0,6 \times h_{\max}$ über der Geländeoberfläche) wobei h_{\max} die Maximalhöhe des digitalen Oberflächenmodells bezeichnet. Der Sinnzusammenhang aller Mitglieder dieser Schar ist der, dass sie alle das untersuchte Waldkronendach in einer Höhe von sechs Zehnteln der Maximalhöhe horizontal schneiden. Somit charakterisieren sie die horizontale Rauigkeit der Kronendachoberfläche in dieser Höhe. Auch charakterisieren sie das Volumen des Wuchsraums, indem sie in einer bekannten Höhe über dem Erdbodenniveau die horizontale Ausdehnung des mit Phytomasse gefüllten Raums der Atmosphäre wiedergeben. Das Höhenschichtenmodell kann wahlweise in absoluten oder relativen Höhen über dem (oder allgemeiner: Abständen vom) Bezugsniveau gebildet werden:

Absolute Höhen sind definiert wie folgt: die Höhen, in welchen das Objekt (dessen Oberfläche oder dessen Körper oder Volumen) horizontal geschnitten wird, werden in absoluten Einheiten über dem Bezugsniveau gewählt. Dabei können die Intervalle in konstanten oder variablen Breiten (Höhenintervallen) vorgegeben werden, je nach Aufgabenstellung, fachspezifischer Notwendigkeit und Bedarf (siehe Fig. 9).

[0079] Beispiel: Ein Höhenschichtenmodell eines Waldes mit einer maximalen Baumhöhe von 28,4 m könnte beispielsweise gebildet werden durch Horizontalschnitte in 5 m, 10 m, 15 m, 20 m, 25 m Abstand vom (oder Höhe über dem) Geländeniveau. Es könnte nach diesem Prinzip auch gebildet werden durch Horizontalschnitte in 0,1 m, 5,3 m, 20,7 m, 27,5 m Höhe. Relative Höhen sind definiert wie folgt: die Höhen, in welchen das Objekt (dessen Oberfläche oder dessen Körper oder Volumen) horizontal geschnitten wird, werden in relativen Einheiten über dem Bezugsniveau gewählt. Dabei können die Intervalle in konstanten oder variablen Breiten (Höhenintervallen) vorgegeben werden, je nach Aufgabenstellung, fachspezifischer Notwendigkeit und Bedarf (siehe Fig. 10a und 10b).

[0080] Beispiele: Ein Höhenschichtenmodell eines Waldes mit einer maximalen Baumhöhe von 28,4 m könnte beispielsweise gebildet werden durch Horizontalschnitte in $0,1 \times h_{\max}$, $0,2 \times h_{\max}$, $0,3 \times h_{\max}$, $0,4 \times h_{\max}$, $0,5 \times h_{\max}$, $0,6 \times$

h_{\max} , $0,7 \times h_{\max}$, $0,8 \times h_{\max}$, $0,9 \times h_{\max}$. Es könnte nach diesem Prinzip auch gebildet werden durch Horizontalschnitte in $0,1 \times h_{\max}$, $0,35 \times h_{\max}$, $0,73 \times h_{\max}$, $0,96 \times h_{\max}$.

[0081] Die hierdurch erzeugten Flächenelemente sind Polygone, welche nach Dimension, Form, Rauigkeit, Richtung etc. durch deren Umfangpolygonzüge definiert sind.

5 [0082] Sie können nach den oben charakterisierten Methodenrepertoire sowie mit zweckmäßigen Standardmethoden analysiert, quantitativ charakterisiert, klassifiziert und ausgewertet werden. Über Methodenwahl und Analyseintensität entscheidet der Analyst bzw. der Auftraggeber nach Maßgabe der Erfordernisse und der persönlichen Einschätzung.

– Analyse der Flächenelemente mit Methoden der Gestaltsstatistik (z. B. in Stoyan & Stoyan)

10 – Erstellen allgemeiner Statistiken wie Gesamtwerte, Mittelwerte, Streuungen

– Berechnung der fraktalen Dimension des (geschlossenen) Polygonzugs eines oder mehrerer Flächenelemente nach einem oder mehreren der bekannten Verfahren (z. B. Boxcounting). Methodenbeschreibung siehe Stoyan & Stoyan oder Steeb.

– Speichern der Resultate in Dateien eines Standardformats zur Weiterverwendung oder Drucken

15

[0083] Da die Umfangpolygone der Höhenschichten, wie oben bereits ausgeführt, die horizontale Ausdehnung der Phytomasse des Wuchsrums kennzeichnen, ist eine jede von ihnen eine Einzelstichprobe des Wuchsräumvolumens. Sie enthält somit eine Information über das Volumen des Wuchsrums. Bei Intensivierung der Stichprobe durch Hinzunahme weiterer Höhenschichten wird mit jeder hinzukommenden Höhenschicht das tatsächliche Wuchsräumvolumen besser approximiert. Da das digitale Oberflächenmodell komplett vorliegt, kann die Intensität der Stichprobennahme beliebig erhöht werden bis das Volumen von maximal des gesamten Oberflächenmodells in die Stichprobe eingegangen ist. Grenzen hinsichtlich der Stichprobenintensität sind faktisch nur gesetzt durch verfügbares Speichervolumen und Rechenzeit. So kann die Realität je nach Ressourcen und Kapazitäten beinahe beliebig angenähert werden.

25 – Anschmiegen (lokale Fittings) von Hohlformen an die Oberfläche des Modells. Angeschmiegt werden Hohlformen, mit welchen die in der Natur vorkommenden Baumkronenformen approximiert werden können. Dabei kommen zum Einsatz Kegel, Ellipsoide, Paraboloiden, Halbkugeln, Glockenformen, Spindelformen und andere Formen (Formtypen). Dabei werden die Formparameter als Variablen verwendet, also variiert (siehe Fig. 21). Variiert werden Formtyp, Dimensionen (Länge, Radius/Durchmesser, Volumen), Krümmungs- und Wölbungsart (konkav/konvex) und -stärke, Rotationssymmetrie (Exzentrizität/Konzentrizität). Die Formen werden mit ihren Scheitelpunkten (Akren) eingehängt in die dreidimensionale Koordinaten aller oder selektierter lokaler Höhenmaxima. Dort werden ihre Parameter variiert und nach jedem Variationsschritt wird die resultierende Form mit der lokalen Ausformung des Oberflächenmodells verglichen. Die Variation geschieht innerhalb biologisch plausibler Grenzen und unter Einsatz von Vorwissen. Abbruchskriterien der Dimensions- und Formvariationen sind das Erreichen der vorgegebenen Grenzwerte sowie die maximal erreichbare Güte des Fits. Dabei werden Standard-Optimierungsfunktionen (z. B. aus der allgemein anerkannten Algorithmussammlung Numerical Recipes) eingesetzt.

30 – Rekonstruktion der abgetasteten Oberfläche mit den lokal gefitteten Hohlformen (siehe Fig. 11: seitliche Ansicht und Fig. 12: Ansicht von oben)

– Verwerten der Resultate in folgender Weise:

40 Klassifikation der Resultate des Fittings für ein Untersuchungsgebiet nach Formtypen in Haupt- und Unterklassen (z. B. Kegelformen mit überwiegend konkaven Flanken, Kegelformen mit überwiegend konvexen Flanken; Ellipsoidformen mit Radius-zu-Höhe-Quotient kleiner als 0,5, Ellipsoidformen mit Radius-zu-Höhe-Quotient größer als 1,0; ...)

Identifikation der Klassen in Wirklichkeitskategorien unter Berücksichtigung zweckmäßig klassifizierter relevanter Variablen in mehreren Stufen:

45 I. Einmalig für ein ganzes Projekt oder grundsätzlich für eine Region

1. Ermittlung des typischen Kronenhabitus und normalen Variationsbreiten für die in einer Region vorkommenden Baumarten

50 2. Ermitteln der typischen Kronendimensionen und normalen Variationsbreiten für die in einer Region vorkommenden Baumarten

3. Ermitteln derjenigen anderen Baumarten, mit denen eine Baumart verwechselt werden kann

4. Klärung der Ursachen für solche Verwechslungen

5. Klärung, wie wahrscheinlich solche Verwechslungen lokal oder regional sind

6. Anlegen einer Datenbank mit diesen empirischen Werten

55 7. Differenzierungen innerhalb der Klassen je Baumart innerhalb biologisch plausibler Variationsbreiten nach adäquaten Kriterien (fiktives Beispiel: Fichten vom Typ "Kammlichte" haben normalerweise auf einem Standort vom Typ A bei einem Bestockungsgrad von $B^0 = 1,0$ in einem Alter von X Jahren eine Höhe von H Metern, einen Kronendurchmesser von D Metern und ein Lichtkronenlängenprozent an der Baumhöhe von $(K \div H \times 100)$).

60 (semantische Klassenbildung: Kegelform mit einer Längsachsenlänge von 6 m, einer Basisbreite von 3 m bei einer Baumhöhe von 22 m ist mit einer Wahrscheinlichkeit von 80% eine Fichte von 70 Jahren Alter der Ertragsklasse I,5 bei einer Bestandesdichte von 900 Bäumen je Hektar und einem Bestockungsgrad von 0,9 auf einem frischen Standort mit mittlerem Nährstoffgehalt; mit 15% Wahrscheinlichkeit handelt es sich um Douglasie von 50 Jahren Alter, Ertragsklasse II,0 bei gleichen Bestandesdichte und Bestockungsgrad auf einem entweder feuchteren oder trockeneren oder nährstoffärmeren Standort, mit 40% Wahrscheinlichkeit mit Vitalitätsminderung aufgrund von Pilzbe-
65 fall; mit 5% Wahrscheinlichkeit handelt es sich um eine untypische Baumart, die normalerweise einen anderen Kronenhabitus ausbildet)

II. Konkret für ein Untersuchungsgebiet

1. Zuordnung der im Untersuchungsgebiet identifizierten und lokalisierten Hohlformen zu den lokal oder regional grundsätzlich vorkommenden Klassen (fiktives Beispiel: Baumkrone Nr. 0001 hat Kegelform mit einer Längsachsenlänge von 6 m, einer Basisbreite von 3 m bei einer Baumböhe von 22 m und ist laut der lokal bzw. regional gültigen Datenbank mit einer Wahrscheinlichkeit von 80% eine Fichte von 70 Jahren Alter der Ertragsklasse I,5 in einem geschlossenen Bestand bei ausreichendem Standraum; mit 15% Wahrscheinlichkeit handelt es sich hierbei um Douglasie von 50 Jahren Alter, Ertragsklasse II,0 in einem geschlossenen Bestand bei leicht eingeschränktem Standraum; mit 5% Wahrscheinlichkeit handelt es sich hierbei um eine untypische Baumart – aus der Gruppe von Arten mit normalerweise nicht kegelförmigen Kronen) 5
2. Zählen der Mitglieder jeder identifizierten Klasse im Untersuchungsgebiet und je Flächeneinheit (z. B. Hektar) 10
3. Berechnen von Statistiken der Befunde für das Untersuchungsgebiet, vorzugsweise Mittelwerte und Streuungen
4. Einbeziehen anderer TREESCAPE-Resultate (z. B. Lückenstatistiken, Lageplan und Statistiken der lokalen Höhenmaxima, Kronenprojektionskarte und deren Statistiken) 15
5. Typisierung des Untersuchungsgebiets nach Baumarten, Baum- und Standortmerkmalen unter Angabe der Wahrscheinlichkeiten der wahrscheinlichsten Klassen und Merkmalskombinationen
6. Überprüfung der Resultate für das Untersuchungsgebiet anhand von Stichprobenkontrollen im Gelände, ggf. unter Zuhilfenahme großmaßstäbiger Fernerkundungsaufzeichnungen
7. Korrektur der Ergebnisse anhand der Kontrolldaten 20
8. Auswertung der korrigierten Ergebnisse für das Untersuchungsgebiet durch Erstellen von Statistiken unter Berücksichtigung der jeweiligen Vorgaben und unter Einbeziehung ggf. vorliegender Zusatzinformationen
9. Ziehen von Schlussfolgerungen aus den Auswertungen
10. Umsetzen der Schlussfolgerungen in Planungen und Entscheidungen 25
11. nach n Jahren: Wiederholungsinventur: Neuaufnahme, Auswertung mit TREESCAPE, Vergleich der Resultate beider Aufnahmezeitpunkte, Ziehen von Schlussfolgerungen über Erfolg der Planungen und durchgeführten oder unterlassenen Eingriffe unter verschiedensten Aspekten wie z. B. Wirtschaftlichkeit, Angemessenheit, Stabilität gegen Witterungseinwirkungen, Resistenz gegen Krankheiten 30

Statische Verfahren der Analysen

- Quantitative Auswertung einzelner Flächenelemente oder Scharen von Flächenelementen (Definition von "Schar" siehe oben: flächenbezogene bzw. 2D-Analyseverfahren). 35
- Sichern der alphanumerischen Resultate in eine Datei mit universell, auch in andere Software, importierbarem Dateiformat. Von dort erfolgt Weiterverarbeitung mit zweckmäßigen Methoden, je nach Aufgabenstellung und Bedarf
- Ausgabe der alphanumerischen Resultate in Dateien zweckmäßigen Dateiformats, ggf. illustriert durch Abbildungen der analysierten Schichtenmodelle. 40

Animierte Verfahren der Analysen

- Abspielen der zuvor definierten Schichtmodelle oder deren Umfangpolygone nacheinander in zeitlicher Sequenz, von unten nach oben oder von oben nach unten, nach Art eines Films auf dem Bildschirm. 45
- Bei Bedarf: Erzeugen eines Films mit einem Standard-Multimedia-Format (z. B. APPLE QuickTime®) zum Abspielen auf beliebigen Plattformen.

[0084] Die Laufrichtungen solcher Animationen wären im bevorzugten Beispiel von Waldoberflächenmodellen: von $h = 0$ m nach $h = h_{\max}$ hin bzw. von $h = h_{\max}$ nach $h = 0$ m hin. 50

[0085] Die Erfahrung zeigt, dass das Betrachten solcher Filme vor der eigentlichen Datenanalyse die Selektion konkreter Schichten in bestimmten Abständen vom Bezugsniveau sowie später die Wahl der quantitativen Analysemethoden erleichtern kann.

Volumenobjektorientierte Analysen 55

Zerlegung des Objektraums in Schichten

- Zerlegung des Objektraums in Horizontalschichten, nämlich übereinander angeordnete Horizontalschnitte
- Zerlegung des Objektraums in Vertikalschichten, nämlich nebeneinander angeordnete Vertikalschnitte (vgl. Höhenprofile) 60

Animierte Verfahren der Analyse

- Abspielen der zuvor definierten Schichtmodelle (Schnittflächen und Umfangpolygone) nacheinander in zeitlicher Sequenz, von (bei Horizontalschichten) unten nach oben (von $h = 0$ m nach $h = h_{\max}$) oder von oben nach unten ($h = h_{\max}$ nach $h = 0$ m), oder (bei Vertikalschichten) in eine beliebige Richtung nach Art eines Films auf dem Bildschirm 65

- Bei Bedarf: Erzeugen eines Films mit einem Standard-Multimedia-Format (z. B. APPLE QuickTime®) zum Abspielen auf beliebigen Plattformen.

5 [0086] Die Erfahrung zeigt, dass das Betrachten solcher Filme vor der eigentlichen Datenanalyse die Selektion konkreter Schichten sowie später die Wahl der quantitativen Analysemethoden(n) und das Setzen der Voreinstellungen bei der Bildverarbeitung (Bildverbesserung und Klassifikation) erleichtern kann.

Statische Verfahren der Analyse

- 10 - anschließende Stichprobenahme von Horizontalschichten zur quantitativen Charakterisierung des Volumens (bei Vegetation des Wuchsrums mit der Phytomasse oder Biomasse) mit Verfahren der Mustererkennung, oder
 - anschließende Stichprobenahme von Vertikalschichten zur quantitativen Charakterisierung des Volumens (bei Vegetation des Wuchsrums mit der Phytomasse oder Biomasse) mit Verfahren der Mustererkennung, und dann
 15 - Charakterisierung des Wuchsrums nach Volumen- und Strukturmerkmalen durch Erzeugung alphanumerischer Struktur-, Form, Gestalt- und ähnlicher Kennzahlen

[0087] Anders als im vorangehenden Abschnitt "Oberflächenorientierte Analysen" wird hier in erster Linie nicht der Oberflächenaspekt des Schichtenmodells (welches dort ja ein Konturlinienmodell ist) betrachtet, sondern der Volumen-
 20 aspekt. Damit kommt die Anwendung eines anderen Typs der Datenverarbeitung, der volumetrischen Datenanalyse (z. B. Lohmann) in Betracht. Entsprechende Methoden können unmittelbar zum Einsatz kommen, oder erst nach weiteren Vorbearbeitungsstufen.

[0088] Vorbearbeitungsschritte können folgendermaßen ausgeführt werden:

- Bearbeitung einzelner Schichten als Rasterbilder

25 [0089] Dies bedeutet, dass nicht nur (beim Horizontalschneiden) das geschlossene Umfangspolygon einer Höhenschicht bzw. (beim Vertikalschneiden) der offene Polygonzug des Höhenprofils der Schnittebene betrachtet wird, sondern dass das geschlossene Umfangspolygon der Schnittebene als Fläche und diese wiederum als Rasterbild betrachtet wird. Das Rasterbild jeder Schnittfläche enthält lokale Informationen über Objekte des Wuchsrums und deren räumliche
 30 Anordnung und Orientierung, somit ist es eine Stichprobe des Wuchsrums. Bei der anschließenden Analyse geht es darum, innerhalb dieser Bilder der (horizontalen bzw. vertikalen) Schnittflächen Objekte zu identifizieren und Strukturen zu detektieren und zu vermessen, die es anschließend zu analysieren und zu klassifizieren gilt. Es handelt sich bei diesen um Rasterdatensätze mit Bildcharakter, auf welche die Standardverfahren der digitalen Bildverarbeitung (z. B. Jähne, Serra), z. B. zur digitalen Filterung (vorwiegend verstärkend wirkende Filter), Kantenextraktion, Klassenbildung und
 35 räumliche Kontextbildung angewendet werden.

[0090] Bereiche in diesen Schichtenflächen, welche auf hohe Verdichtungen der Phytomasse hindeuten, werden als geschnittene Holzteile (Äste, Stämme) betrachtet und entsprechend klassifiziert. Bereiche in diesen Schichtenflächen, welche auf geringere Verdichtungen der Phytomasse hindeuten, werden als geschnittene Laubmasse betrachtet und entsprechend klassifiziert. Bereiche in diesen Schichtenflächen, welche keine Anzeichen für Strukturen, Texturen oder Verdichtungen aufweisen und somit auf Fehlen von Phytomasse hindeuten, werden als vegetationsfreie Räume (ohne Laub, Ast- oder Stammteile) betrachtet und entsprechend klassifiziert. Nicht klassifizierbare Bereiche des Bildes werden als unbestimmt klassifiziert.

40 [0091] Hierbei empfiehlt sich die Betrachtung und Analyse mehrerer Schichten in verschiedenen Höhen bzw. an verschiedenen Orten desselben Waldes. Sie sind die Stichprobe des Wuchsrums. Nach Vollausswertung aller möglichen Schnittebenen im Raster des zu untersuchenden Datensatzes ergibt sich ein dreidimensionales Abbild des Wuchsrums unter Berücksichtigung der Klassen Stammholz, Astholz, Laubmasse und vegetationsfreier Raum. Nach dieser Vorverarbeitung wird weiter verfahren wie folgt:

- Zusammenfügen der klassifizierten Schichten zu einem verbesserten Volumenmodell
- 50 - Erneutes Schneiden des Volumenmodells rechtwinklig zur ersten Schnittrichtung
- Wiederholung des ersten Vorgangs zur Bildverbesserung und Klassifikation
- Zusammenfügen der zweiten Schnittflächenschar zum digital verbesserten Volumenbild aus klassifizierten Voxel

55 [0092] Der Vorteil des Einsatzes digitaler Bildverarbeitung durch schichtenweise Bearbeitung und Wiederzusammensetzung der Schichten zu einem schließlich klassifizierten Volumenmodell liegt darin, dass das resultierende dreidimensionale Modell gegenüber den Eingangsdaten (Rohdaten) ein wesentlich besseres Abbild der Wirklichkeit darstellt. Rauschen und andere Störfaktoren sind eliminiert worden, Fehlstellen durch Mittelung der Nachbarwerte ausgefüllt, Kontraste verstärkt, Klassengrenzen verdeutlicht und somit die Klassifizierungsergebnisse gegenüber den Klassifikationen nur mit Methoden der volumetrischen Bildverarbeitung verbessert. Bereits hier können neuronale Netzwerke eingesetzt werden (s. u.).

60 [0093] Da eine Schicht (Vertikalschicht des Vertikalschnitts bzw. Höhenschicht des Horizontalschnitts), wie oben bereits ausgeführt, die Struktur und räumliche Verteilung der Phytomasse innerhalb des Wuchsrums kennzeichnen, ist eine jede von ihnen eine Einzelstichprobe der Objekte und Strukturen im untersuchten Wuchraum. Sie enthält somit Informationen über die lokale und mittlere Dichte des Wuchsrums und der Verteilung der Phytomasse in ihm. Bei Intensivierung der Stichprobe durch Hinzunahme weiterer Höhenschichten wird mit jeder hinzukommenden Höhenschicht die tatsächliche Wuchraumcharakteristik besser approximiert. Da das digitale Volumenmodell den Schnitten zugrunde liegt, kann die Intensität der Stichprobennahme im Rahmen der Originalaufnahmeintensität beliebig erhöht werden bis

maximal das gesamte Volumen in die Stichprobe eingegangen ist. Grenzen hinsichtlich der Stichprobenintensität sind dann nur gesetzt durch verfügbares Speichervolumen und Rechenzeit des Auswertesystems. So kann die Realität, je nach verfügbaren Ressourcen und Kapazitäten, im Rahmen der Möglichkeiten, die der Originaldatensatz bietet, beliebig angenähert werden.

[0094] Nach Bildung des verbesserten Volumenmodells schließen sich folgende Analyseschritte an:

- Bearbeitung, Klassifikation und Charakterisierung der Volumenbilder (Voxelbildern) mit Standardverfahren der volumetrischen Bildanalyse (z. B. in Lohmann beschrieben)

[0095] Diese erfolgen so:

- Charakterisierung des Wuchsraums nach Volumen anhand von Klassen, vorzugsweise: Baumstämme, Kronenäste, Laubraum, vegetationsfreier Raum, unklassifizierter Raum, sowie Berechnung der vertikalen räumlichen Straten, vorzugsweise Stammraumvolumen, Schattenkronenvolumen, Lichtkronenvolumen. Statistiken (Mittelwerte, Streuungsmaße) über die Verteilung des Wuchsraumvolumens auf die einzelnen Klassen, innerhalb der vertikalen räumlichen Straten und auf die Fläche des Untersuchungsgebiets bezogen, ggf. unter Bezugnahme auf bekannte räumliche Merkmale, beispielsweise aus Vorstratifizierungen des Untersuchungsgebietes wie z. B. Waldinnenränder, Waldaußenränder, Lücken oder Korridore innerhalb des Wuchsraums, Geländetopographie und -morphologie wie z. B. Hangneigung, Exposition, Konkavitätsmaß/Konvexitätsmaß, ggf. unter Berücksichtigung deren quantitativer Merkmale, wie z. B. Dimensionen (Längen, Flächen, Volumen), Distanzen (Abstände) zu bestimmten anderen Objekten oder Merkmalen, ggf. unter Berücksichtigung qualitativer Merkmale, wie z. B. Standortqualität (z. B. Nährstoff-, Wasserhaushalt, Azidität des Bodens), ggf. unter Berücksichtigung zeitlicher Aspekte (z. B. des Aufnahmezeitpunkts der Originaldaten, der Veränderungen der Merkmale und ihrer Ausprägungen gegenüber einem früheren Bezugszeitpunkt)

unter Verwendung der Merkmale Volumen [m^3] im Untersuchungsraum, Volumen [m^3] je Hektar

- Charakterisierung des Wuchsraums nach räumlichen Dispersionsmaßen des Auftretens dieser Klassen im dreidimensionalen Raum (Verteilungsarten: können z. B. sein: zufällig, in regelmäßigen räumlichen Intervallen, anderweitig systematisch, lokal konzentriert, geklumpt)
- Charakterisierung der klassifizierten Objekte nach morphologischen und topologischen Aspekten: Geradheit, Krümmungstrend, Schlangenwüchsigkeit, Schiefe im Raum relativ zu einer Bezugsebene (normalerweise die Geländeoberfläche, einmal mit und einmal ohne Berücksichtigung der lokalen Hangneigung)
- Weitergehende Analysen der bis zu diesem Zeitpunkt vorliegenden Resultate mit dem Ziel, Erkenntnisse aus diesen zu ziehen: Ermitteln statistischer Zusammenhänge zwischen den vorliegenden Resultaten und typischen Waldinventurvariablen (besonders von forstwirtschaftlich und/oder waldökologisch relevanten Variablen), aber auch von anderen Variablen, durch mathematische (v. a. statistische, geostatistische, gestaltsstatistische, aber auch andere) Standardverfahren
- Formulieren von Voreinstellungen für TREESCAPE-Module
- Ermitteln lokal, regional oder generell gültiger Korrekturfaktoren
- Aufstellen neuer mathematischer Modelle zur Erklärung von Phänomenen wie lokalen, regionalen oder globalen Merkmalen, Merkmalsausprägungen, Varianzen, bilaterale oder multilaterale, jeweils unidirektionale oder bidirektionale, Abhängigkeiten (einseitige Bedingtheiten, gegenseitige Interdependenzen)

[0096] Hinweis: Wie überall, wo die Realität stichprobenhaft erfasst, modelliert oder rekonstruiert wird, sind die Resultate solcher Berechnungen als Schätzungen und nicht als Messungen zu betrachten. Die Resultate sind stets anhand von Vergleichen mit der Realität stichprobenhaft zu überprüfen und erforderlichenfalls zu korrigieren.

[0097] Diese Resultate werden neben Abspeichern, Drucken, Präsentieren, Importieren in Text- und Bilddokumente oder in Datenbanken oder (geographische) Informationssysteme verwendet für

- Kontinuierliche Verbesserungen der methodischen und diagnostischen Qualitäten der TREESCAPE-Verfahren durch die solcherart erzeugten Erkenntnisfortschritte
- Kontinuierliche Umsetzung dieser Erkenntnisfortschritte in Software durch Erstellen von Quellcode einer geeigneten Programmiersprache

Verfahrensdetails dieses Kapitels

(e) Zerlegung des Objektraums in Vertikalschichten

[0098] Der Objektraum, in Vertikalschichten geschnitten, gibt im Fall von Wäldern die vertikale Gliederung des Wuchsraums stichprobenhaft wieder. Auch hier gilt: mit steigender Stichprobenintensität nimmt die Naturtreue der generierten Aussage zu.

(f) Animierte Verfahren

[0099] Die Vertikalschichten werden nacheinander, in eine Richtung fortschreitend, auf dem Bildschirm präsentiert. Per Voreinstellung kann die Schnittrichtung (den Objektraum zeilen- oder spaltenweise schneidend) sowie das räumliche Intervall (Schnitt berechnen alle n Streckeneinheiten, z. B. alle 1,0 m, alle 0,5 m, alle 5 m oder jede beliebige andere Schrittweite) vorgewählt werden. Das Zeitintervall zwischen der Darstellung zweier Bilder ist zuvor frei bestimmbar. Die Wiedergabe kann auf Tastendruck jederzeit angehalten werden. Jedes einzelne Bild der jeweils ablaufenden Sequenz kann wahlweise per Tastendruck erzeugt und dargestellt werden. Die Sequenz kann vorwärts oder rückwärts laufen. Somit läuft ein Film der Vertikalschichten auf dem Bildschirm ab, dessen Einzelbilder jeweils die Verteilung der Phytomasse im vertikalen Wuchsraumprofil in einer konkreten, bekannten, Schnittebene, definiert durch die x - oder y -Koordinate des Achsenabschnitts, wiedergeben. Die Animation am Bildschirm dient hauptsächlich der prima vista Betrachtung des Wuchsraums und zum Treffen der Auswahl besonders intensiv zu betrachtender und zu analysierender Vertikalschichten. Sie dienen auch dazu, eventuell notwendige Bildverbesserungen und Informationsextraktionen zu planen. Die Analyse erfolgt schnittflächenweise (siehe statische Verfahren).

(g) Statische Verfahren

[0100] Einzelne Vertikalschichten, systematisch, zufällig oder selektiv ausgewählt, werden extrahiert und deren Schnittflächen werden mit Methoden der digitalen Bildverarbeitung bearbeitet. Aus ihnen ergeben sich Informationen über die Ausnutzung des Wuchsraums durch Phytomasse in vertikaler Richtung.

[0101] Die Methoden der digitalen Bildverarbeitung sind vorzugsweise kontrastverstärkend, Rauschen dämpfend, fehlende Pixel interpolierend (damit die anschließende Delinierung der Bildmerkmale erfolgreich durchführbar werden kann), den Bildinhalt klassifizierend und segmentierend. Mögliche Bildmerkmale (Klassen) in den Schnittflächen sind:

- Baumstämme, Kronenäste, Laubmasse, vegetationsfreie Räume

[0102] Aus den Resultaten der Gesamtheit der Bildaufbereitung jedes einzelnen Vertikalschnitts wird das Volumenmodell des Wuchsraums neu zusammengefügt. Das Volumenmodell kann dann wiederum vertikal geschnitten werden. Die dabei entstehenden Schnittflächen sind dann bereits klassifiziert in die Klassen: Baumstamm, Kronenraum, Laubmasse, vegetationsfreier Raum. Nicht eindeutig klassifizierbare Pixel der Schnittebene werden der Klasse Unklassifiziert zugeordnet.

[0103] Das Resultat ist ein Volumenmodell, bestehend aus Voxeln (deren Dimensionen sich aus der Punktdichte und Geometrie der Rohdatenerhebung bzw. des daran sich anschließenden Resamplings ergeben), welches in beliebiger Weise, wie ein medizinisches Computertomogramm menschlicher Organe, geschnitten, betrachtet, ausgewertet, weitergehend analysiert und bewertet werden kann.

Analysen eindimensionaler Datensätze

[0104] Vertikalschnitte des 2,5D-Oberflächenmodells liefern Höhenprofile (siehe Fig. 13a zeilenweise und Fig. 13b spaltenweise. Sie können gezielt selektierend, systematisch oder zufällig ausgewählt werden. Sie können anschließend einzeln oder zu mehreren je Datensatz stichprobenhaft oder komplett analysiert werden mit verschiedenen Methoden (siehe Fig. 14).

Geometriestatistische und ähnliche Verfahren

- Identifizierung lokaler Höhenextrema (Minima oder Maxima)
- Vermessung deren Position auf der jeweiligen Achse oder im Raummodell
- Berechnung von Statistiken für das Höhenprofil, z. B. Höhenmittel, Höhenstreuungen, minimale oder maximale Höhe, Höhenspanne, Verteilungen der Werte auf Perzentile
- Berechnung von Statistiken für den ganzen Datensatz aus welchem die Profile ausgewählt wurden oder Teile davon (siehe Fig. 14) z. B. Höhenmittel, Höhenstreuungen, minimale oder maximale Höhen, Verteilungen der Werte auf Perzentile,
- Berechnung fachspezifischer Höhenwerte wie z. B. die in der Forsteinrichtung und in der Waldmesskunde verwendete Weise'sche Oberhöhe (Kramer & Akça)
- Quantifizierung der Oberflächenrauhigkeit für das gesamte Untersuchungsgebiet oder für Ausschnitte
- Rauhigkeit der Waldoberfläche
- Rauhigkeit des Lichtkronenraums (unter Berücksichtigung der Höhen der Berührungsstellen zwischen benachbarten Baumkronen)
- Rauhigkeit der Geländeoberfläche unterhalb der Vegetationsoberfläche oder außerhalb der Vegetationsbestandes

[0105] Es wird hier im Hinblick auf wachstumskundliche Untersuchungen eine neue Form der Oberflächenrauhigkeit eingeführt:

Mittlere Ausgleichskurve des Lichtkronenraumprofils:

ein Polygonzug wird berechnet, dessen Verlauf definiert wird aus den streckenhalbierenden Höhen zwischen den benachbarten lokalen Höhenminima und Höhenmaxima (siehe Fig. 14: Strichpunkt-Mittellinie)

Die Rauhigkeit dieses Polygonzugs wird berechnet

Mittlere Tiefe des Lichtkronenraumprofils:

zwischen dem arithmetischen Mittelwert der Höhen zweier direkt benachbarter lokaler Höhenmaxima wird die Höhendifferenz zum eingeschlossenen lokalen Höhenminimum berechnet
das Resultat wird durch das arithmetische Mittel der Höhen der beiden benachbarten lokalen Höhenmaxima dividiert.
Alle Resultate für das untersuchte Höhenprofil werden aufsummiert und durch die Anzahl der lokalen Höhenminima dividiert.

Beide Größen, mittlere Ausgleichskurve des Lichtkronenraumprofils und die mittlere Tiefe des Lichtkronenraumprofils, werden in Bezug gesetzt zu waldwachstumskundlichen, ertragskundlichen und waldökologischen Variablen um Vorrats- und Zuwachsschätzungen von Holz und anderer Biomassen vorzunehmen, deren räumliche Strukturen und Verteilungen zu quantifizieren, sowie Rückschlüsse aus diesen Erkenntnissen auf andere Gegebenheiten zu ziehen.

- Vermessung des Wuchsraums (also des zwischen Waldoberfläche und Waldboden liegenden zweidimensionalen Raums) als eine einzelne Fläche
- Vermessung spezieller Dimensionen innerhalb des Wuchsraums (bei Analysen nicht benachbarter Stichproben von Höhenprofilen)

Vermessen der Dimensionen einzelner Bäume oder von Baumkollektiven, z. B. Baumhöhenäquivalente (Höhen lokaler Höhenmaxima), Durchmesser (Strecke zwischen zwei benachbarten lokalen Höhenminima)

Lichtkronendimensionen einzelner Bäume oder von Baumkollektiven nach Länge (Länge des Lots gefällt von einem lokalen Höhenmaximum auf die Verbindungsgerade zwischen zwei unmittelbar benachbarten lokalen Höhenminima), Breite (horizontale Strecke zwischen zwei unmittelbar benachbarten lokalen Höhenminima, dem eingeschlossenen lokalen Höhenmaximum als Baumkronenbreite zugewiesen), Fläche (zwischen den drei Schenkeln: beiden Flanken von einem lokalen Höhenmaximum zu den beiden benachbarten lokalen Höhenminima und der Verbindungsgeraden zwischen den beiden benachbarten lokalen Höhenminima)

Dimensionen der Bestandeslücken (Länge der Kurvenabschnitte mit der Höhe $h = 0$ m)

- Erstellen von Statistiken für diese Mess- bzw. Schätzwerte (z. B. Mittelwerte, Streuungswerte, Extremwerte) für das untersuchte Höhenprofil

- Vermessung spezieller Dimensionen innerhalb des Wuchsraums (bei Analysen eines Kollektivs benachbarter Höhenprofile), erforderlichenfalls differenziert wie vorstehend, wobei bei einer hinreichenden Zahl benachbarter Höhenprofile Verfahren des Typs "Oberflächenanalyse" zur Anwendung kommen können. Dadurch präzisieren sich die baumbezogenen Dimensionen indem je Einzelobjekt die größte Höhe und die größte Breite identifiziert werden. Je Einzelobjekt werden nur diese Maximalwerte gespeichert

- Darstellung der Resultate auf dem Bildschirm

- Speichern der Resultate in Dateien unter Wahrung des Raumbezugs und des Objektbezugs zur weiteren Verwendung

- Präsentation der Resultate, evtl. gemeinsam mit graphischen Repräsentationen des analysierten Objekts (siehe Fig. 16)

Verfahren der Signalanalyse

[0106] Zweck der Signalanalysen ist die automatische Charakterisierung eines Höhenprofils nach den Merkmalen Dimension (Höhe, Breite), Form, Frequenz der Einzelobjekte. (Fig. 13, 14, 16, 17 zeigen Beispiele):

- Fourier Transformationen, vorzugsweise die Fast Fourier Transformation (FFT) zur Analyse der Höhenfrequenzen im untersuchten Höhenprofil (Fig. 13). Hieraus sind Schlüsse auf den Pflanzenverband möglich und aus diesem Schlussfolgerungen auf die Bestandesentstehung, waldbauliche Behandlungsform und Pflanzenalter

- Berechnung des Powerspektrums (siehe Fig. 17)

- Wavelettransformationen durch Faltung des Höhenprofils (Bestandessignal) mit einem klassischen Wavelet (siehe Fig. 18, 19a, 19b)

- Andere Transformationen der Höhenprofile aus dem Ortsraum in einen Transformationsraum (siehe Fig. 19a, 19b) durch Faltung des Höhenprofils (Bestandessignal, Fig. 13a, 13b) mit einem testenden Puls bestimmter ausgewählter Form (Testsignal, Fig. 18). Die Formen werden ausgewählt unter dem Aspekt des Testens des Bestandessignals auf bestimmte Charakteristika der Vegetation, Bestandeslücken und Singularitäten

Andere Verfahren

- Berechnung der fraktalen Dimension des (offenen) Polygonzugs eines oder mehrerer Höhenprofile nach einem oder mehreren der bekannten Verfahren (z. B. Boxcounting). Methodenbeschreibung siehe Stoyan & Stoyan oder Steeb.
- Speichern der Resultate in eine Datei zur Weiterverwendung

Generieren neuer Informationen aus den TREESCAPE-Resultaten

Einführung

[0107] Die vielerlei Resultate der TREESCAPE-Verfahren basieren auf sehr unterschiedlichen methodischen Ansätzen. Dabei wird das zu untersuchende Objekt in sehr unterschiedlicher Weise betrachtet und analysiert.

[0108] Manche dieser Resultate sind bereits in der Praxis verwendbare Ergebnisse von bisher mit höherem Aufwand

und/oder geringerer Genauigkeit oder Verlässlichkeit betriebenen Mess- und Inventarisierungsarbeiten.

[0109] Manche dieser Resultate liefern Daten oder Informationen, die mit bisher eingesetzten Erhebungsmethoden nicht gewonnen werden können, also neue Daten/Informationen.

[0110] Einige Resultate eignen sich eher als Eingangsgrößen für Berechnungen oder Bewertungen, welche auf solche Daten oder Informationen angewiesen sind. Dabei liefern die Resultate wichtige Daten und Informationen rationeller, welche bisher schlechter oder mit höherem Aufwand erhoben werden oder nicht erhoben werden können. Einige solcher Berechnungen und vor allem Bewertungen benötigen zusätzliche Daten und Informationen, die in weiteren Analyseschritten oder eigenen Untersuchungen mit den bis hierher automatisch gewonnenen Resultaten zu verknüpfen sind. Dabei sind gelegentlich sehr komplexe Verknüpfungen anzustellen, welche nicht mit einfachen Statistikmethoden (wie z. B. Clusteranalysen) und Datenbanken (wie sie derzeit z. B. in Geoinformationssystemen integriert oder durch individuelle lokale Lösungen beim Auftraggeber leicht aufzubauen wären) durchführbar sind.

[0111] Es ist daher Bestandteil des TREESCAPE-Verfahrens, Verknüpfungen nach Art neuronaler Netzwerke vorzunehmen. Mit ihrer Hilfe können aus Einzelphänomenen die gesuchten allgemeinen Charakteristika extrahiert, unter ihnen Ordnung erzeugt und ihre Auftretenswahrscheinlichkeit im Untersuchungsgebiet (dem Objektraum) geschätzt werden. Ist das (v. a. durch Datenbanken unterstützte und selbstlernende) System eingerichtet und trainiert, dann fällt im wesentlichen nur noch Rechenzeit, nicht aber der Einsatz von Experten an. Es kann ab dann der Auftraggeber das System für seine ähnlich gelagerten Zwecke selbständig einsetzen. Über die Fähigkeit zur rationellen Gewinnung von Erkenntnissen aus den bereits vorliegenden Daten und Informationen hinaus besteht hierin ein großer Rationalisierungsfortschritt gegenüber herkömmlichen Methoden der Charakterisierung, Beobachtung und Bewertung von Vegetationsflächen in der Landschaft.

Einsatz neuronaler Netzwerke

[0112] Über den Einsatz neuronaler Netzwerke in der Mustererkennung unterrichtet Looney (1997). Über ihren Einsatz in Biowissenschaften informiert SPITZER (2000).

[0113] Bei der Verknüpfung von TREESCAPE-Resultaten mit den zugrundeliegenden Ursprungsdaten, vor allem aber mit interessierenden anderen Merkmalen kommen die Standardmethoden der rechnergestützten Implementierung, des Trainierens und des Betriebens neuronaler (v. a. auch semantischer) Netzwerke zum Einsatz. Dabei werden selbstorganisierende Eigenschaftskarten (z. B. Kohonen-Netzwerke) eingesetzt um topographische Merkmalskarten zu erzeugen und in die Analyseprozesse einzufügen. Die Center-Surround Umgebungen und Bereiche lateraler Hemmungen der beteiligten Neuronen sind variabel. Die verwendeten Funktionen werden der jeweiligen Aufgabenstellung angemessen formuliert. Auch die Einstellungen, soweit sie nicht der Selbstorganisation überlassen werden können, richten sich nach den Erfordernissen der jeweiligen Aufgabenstellung. Die Lernregeln (z. B. die Hebbsche Lernregel) für die Verbindungen zwischen den Inputschichten und den selbstorganisierenden Eigenschaftskarten (z. B. Kohonen-Schichten) werden der jeweiligen Aufgabenstellung angemessen gewählt. Entsprechendes gilt für die dabei verwendeten Schwellenwerte für die Aktivierung der Neuronen in den Schichten. Für besonders komplexe Untersuchungen von Zusammenhängen und Kausalitäten, z. B. in der Quantifizierung der biologischen Vielfalt (Biodiversität) eines Untersuchungsgebiets, werden die Untersuchungen modular durchgeführt. Modularität bedeutet hierbei das Zusammenarbeiten und die Vernetzung der beteiligten, aber voneinander trennbaren, Komponenten des Systems. Die Inputs werden dafür in parallel laufenden, jeweils eigenen Fragestellungen nachgehenden, Bahnen analysiert. Ein neuronales Netzwerk bearbeitet die Ermittlung des Gegenstandes, während ein anderes dessen Ort im untersuchten Raum ermittelt und weitere das Vorhandensein weiterer Informationen prüfen, deren Relevanz bewerten und die Stärken deren Einflüsse auf den fraglichen Sachverhalt untersuchen. Durch das Einlagern von Zwischenschichten (hidden layers) können auch komplexe Input-Output-Reaktionen vollzogen werden, was für die Abstraktions- und Typenbildung und somit für die Klassenbildung und Bewertung der untersuchten oder gesuchten Merkmale hilfreich ist. So können Prototypen mit allgemeinen Eigenschaften (z. B. für die Hohlformen beim Fitting an die Vegetationsoberfläche zum Zweck der Baumartenerkennung anhand morphologischer Merkmale der Kronenoberfläche oder Kronendachoberfläche) entwickelt werden. Was hier für die Gestaltbildung gilt, wird auch auf die begriffliche Repräsentation angewendet.

[0114] Erforderlich ist das Formulieren von Regeln für die Input-Output-Verhältnisse beim Trainieren der Netzwerke. Für deren Erstellung sind Erfahrungen mit dem Untersuchungsgegenstand (v. a. bei natürlichen Objekten auch mit den naturräumlichen und ggf. weiteren relevanten Gegebenheiten des Untersuchungsgebiets) in geeigneter Form bereitzustellen. Vor dem Einsatz der neuronalen Netzwerke sind die darin zu integrierenden Datensätze weitestgehend aufzubereiten um verrauschte oder deformierte Inputs zu vermeiden, welche die Ergebnisse beeinträchtigen könnten. Die Datensätze sind daher durch Vorverarbeitungsschritte in den bestmöglichen Zustand zu versetzen. Die verfügbaren Methoden der digitalen Bildverarbeitung, Muster- und Objekterkennung zur Verbesserung und Klassifizierung sind möglichst vor dem Einsatz der neuronalen Netzwerke auf die Datensätze anzuwenden. Dies schließt nicht aus, dass neuronale Netzwerke schon in den Phasen der Datensatzprüfung und -verbesserung, Straußifizierung, Segmentierung, Klassifikation eingesetzt werden.

[0115] Über Fehlerrückmeldungen und Korrekturen durch den Auswerter lernt das System hinzu. Mit Rücksicht auf die Beobachtung und Überwachung von Veränderungen im Untersuchungsgebiet in einem Monitoringsystem ist der Faktor Zeit in das Analysesystem einzubeziehen. Das Auswertesystem wird dynamisch, indem interne Repräsentationen sich verändern. Hinsichtlich des Datensatzes bedeutet dies, dass nicht nur ein Muster zu erkennen, zu charakterisieren, zu klassifizieren und zu bewerten ist. Vielmehr sind Reihenfolgen von Mustern zu identifizieren, zu lokalisieren, in Bezug zu dem Zustand am selben Ort zu einem anderen Zeitpunkt zu setzen und schließlich die detektierten Differenzen zu charakterisieren, zu klassifizieren und zu bewerten. Durch autoassoziative Netzwerke mit Rückkopplungen und anderen Veränderungen innerhalb des Systems wird erreicht, dass mehrere Muster gespeichert werden und nicht nur ein Attraktor ausgebildet werden kann. Mathematisch umgesetzt wird dies durch Vektortransformationen.

[0116] Klassenbildungen in den Analyseresultaten werden verbessert durch den Einsatz semantischer, selbstorganisierender

render und assoziativer Netzwerke, in denen Bedeutungen, Zusammenhänge, ggf. auch Behandlungs- oder Verwendungsgewohnheiten in hierarchischen Prozessen berücksichtigt werden.

Anmerkungen

- In den Softwaremodulen sind Fehlerrückmeldungen implementiert, die aufgrund von über- oder unterschrittenen Grenzwerten und nicht eingehaltenen Rahmenkonditionen aktiviert werden und den Auswerter hierüber informieren.
- Wenn Analyseresultate je Flächeneinheit berechnet werden, so dient dies zunächst als Normierung wie sie in Land- und Forstwirtschaft üblich ist (Hektar). Jede andere Bezugsfläche ist jedoch ebenso möglich, z. B. Quadratkilometer, aber auch die Fläche einer Wirtschaftseinheit (z. B. konkreter land- oder forstwirtschaftlicher Betrieb; Gebiet einer Gemeinde, eines Landkreises, einer Bezirksregierung, eines forstlichen Wuchsgebiets, eines Bundeslands, eines Staates, eines Staatenbundes, einer biogeographischen Region; der komplette Auewald, Kalkbuchenwald, alle Wertscheinstände, alle Fichtenreinbestände mit Durchforstungsrückständen etc. einer Region).

Anwendungen auf zu untersuchende Objektdatensätze

[0117] Für die eigentlichen Analysen der digitalen Modelle bietet TREESCAPE die nachstehend genannten Analysewerkzeuge (Methodik und Software) an. Der Ausdruck "Analysewerkzeuge" bezeichnet hierbei verallgemeinernd alle Verfahren zur Be- und Verarbeitung der Datensätze. Diese sind verallgemeinernd ausgedrückt:

- Verfahren und Softwaremodule zum Einlesen der Objektdatensätze
- Verfahren und Softwaremodule zur Vorverarbeitung der Objektdatensätze inklusive Fehlerbereinigung und inklusive der Aufbereitung für die folgenden Be- und Verarbeitungsschritte
- Verfahren und Softwaremodule zur statischen und/oder animierten Visualisierung der zu analysierenden Objektdatensätze
- Verfahren und Softwaremodule zur Integration von Zusatzdaten und -informationen (Expertenwissen) in die folgenden Analyseprozesse
- Verfahren und Softwaremodule zum Analysieren der Objektdatensätze mit TREESCAPE-Verfahren nach Vorgaben des Auftraggebers und/oder des Bearbeiters
- Verfahren und Softwaremodule zur Visualisierung der Analyseresultate auf dem Bildschirm
- Verfahren und Softwaremodule zur Speicherung von Zwischen- und Endergebnissen in Dateien
- Verfahren und Softwaremodule zur Druckausgabe von Zwischen- und Endergebnissen

Graphische Darstellung der digitalen Datensätze zur Grobeinschätzung der Gegebenheiten des Objektraumes und zur Planung der Voreinstellungen der eigentlichen Analyseschritte

[0118] Es empfiehlt sich, allen Analysen eine Visualisierung und eingehende visuelle Untersuchung vorausgehen zu lassen. Die Datensätze sind hierfür zunächst graphisch darzustellen entweder durch Standbilder oder Bewegtbilder. Bewegtbilder sind hierbei in TREESCAPE filmartig komponierte Abfolgen einzelner Bilder, mit dem entsprechenden TREESCAPE-Modul z. B. in das universell lesbare Multimediaformat QuickTime® der Firma APPLE importiert.

Analysen der digitalen Modelle gegliedert nach Dimensionalität der zu analysierenden Datensätze

Analysen eindimensionaler Objektdatensätze (1D-Datensätze)

[0119] Die Bezugslänge des eindimensionalen Datensatzes eines Höhenprofils aus einem digitalen Oberflächenmodell (am Beispiel eines Vegetationsbestandes) ist

- die Länge der überspannten Strecke der Geoidoberfläche der Erddarstellung in einem zweckmäßigen räumlichen Koordinatensystem. Das Verhältnis der Länge des Höhenprofils zur Länge der überspannten in die Horizontale projizierten Strecke ist eine gute Maßzahl für die Rauigkeit des Höhenprofils. Siehe Dissertation Halbritter.

[0120] An dieser Bezugslänge orientieren sich sowohl die methodischen Ansätze als auch die Interpretation der Ergebnisse. Dies gilt sowohl für Ansätze der Geometriestatistik als auch der Signalanalyse.

Analysen insbesondere auf Grundlagen von Geometriestatistik

[0121] Siehe oben

Analysen insbesondere auf Grundlagen der Signalanalyse

[0122] Siehe oben

[0123] Berechnung der fraktalen Dimension des (offenen) Polygonzugs eines oder mehrerer Höhenprofile nach einem oder mehreren der bekannten Verfahren (z. B. Boxcounting). Methodenbeschreibung siehe Stoyan & Stoyan. Siehe oben.

[0124] Über die Berechnungen von Flächeninhalten und Volumen sowie Linien, Netze und Kegelschnitte unterrichtet Scheid. Schnitte von Geraden und Ebenen, Berechnungen von Polyedern, Kreisen und Kugeln, Zylinder und Kegel und kotierte Projektionen sind beschrieben bei Klix & Nickel. Die übrigen verwendeten geometrischen Formeln finden sich bei.

[0125] Die Quantifizierung der Rauigkeit eines zweidimensionalen Datensatzes ist weniger einfach vollzogen. Die geometrischen und topometrischen Eigenschaften einer Höhenschicht der Vegetationsmasse eines Pflanzenbestandes oder der Konturlinie einer vegetationsfreien Fläche innerhalb eines Pflanzenverbandes (Bestandeslücke) können sowohl in Draufsicht als auch in Seitenansicht der Fläche erfolgen (siehe z. B. Fig. 9). Die Charakterisierung der Umfangpolygone der Flächenelemente erfolgt dabei unter verschiedenen Klassifikationskriterien wie Lageabweichungen (in einem zweidimensionalen planimetrischen Koordinatensystem oder als euklidische Raumdistanz in einem dreidimensionalen Koordinatensystem) von Referenzpunkten, Höhenabweichungen von Referenzhöhen, Abweichungen von Formen und geometrischen Details von Referenzlinien, Referenzflächen, Referenzkörpern, Abweichungen von der Gestalt eines Kreises (Kreisform), Welligkeit (Undulation), Zerlappung (Amöboidalität), Klüftung, Konvexität/Konkavität etc.

Quantifizierung der morphologischen Charakteristika und Rauigkeit eines 2D-Datensatzes in Seitenansicht

[0126] Als Methode zur Charakterisierung des zweidimensionalen Datensatzes in Seitenansicht wird mit Rücksicht auf Messmöglichkeiten und -bedingungen durch Fernerkundung, aber auch unter dem Aspekt des Nutzens und der Plausibilität des Resultats für typische biologisch-technischen Fragestellungen, folgender methodischer Ansatz gewählt:

- Plotten (oder anderweitiges Abtragen in einem Koordinatensystem x, y) des Radius gegen den Abstand des jeweiligen Messpunktes von einem Bezugspunkt auf der Konturlinie im Vollkreis (hier genannt: Rho gegen Phi). (Siehe Fig. 20).

Quantifizierung der morphologischen Charakteristika und Rauigkeit eines 2D-Datensatzes in Draufsicht

[0127] Als Methode zur Charakterisierung des zweidimensionalen Datensatzes in Draufsicht werden mit Rücksicht auf Messmöglichkeiten und -bedingungen durch Fernerkundung, aber auch der Plausibilität des Resultats für typische biologisch-technischen Fragestellungen, folgende methodischen Ansätze gewählt:

- Automatische Vermessung der Fläche des Polygons
- Automatische Vermessung des Umfang des Polygons
- Automatische Berechnung des Quotienten $\text{Umfang}^2/\text{Fläche}$ des Polygons
- Automatische Berechnung des Faktors Fläche zu Umfang des Polygons (Berechnung erfolgt nach der mathematischen Vorschrift: Diss Halbritter)
- Automatische Berechnung des Kreisförmigkeitsfaktors des Polygons (Berechnung erfolgt nach der mathematischen Vorschrift: Diss Halbritter)
- Automatische Berechnung des Radius (alternativ: des Durchmessers) des Kreises mit der Fläche des Polygons (Berechnung erfolgt nach der mathematischen Vorschrift: Diss Halbritter)
- Automatische Berechnung des Quotienten $\text{Umfang des Polygons}/\text{Umfang des flächengleichen Kreises}$ für das Polygon (Berechnung erfolgt nach der mathematischen Vorschrift: Diss Halbritter)
- Automatisches Anpassen des minimalen äußeren Schmiegekreises an das Polygon (Berechnung erfolgt nach der mathematischen Vorschrift: Diss Halbritter)
- Automatisches Anpassen des maximalen inneren Schmiegekreises an das Polygon (Berechnung erfolgt nach der mathematischen Vorschrift: Diss Halbritter)
- Automatisches Berechnen des Radius (alternativ: des Durchmessers) des minimalen äußeren Schmiegekreises (Berechnung erfolgt nach der mathematischen Vorschrift: Diss Halbritter)
- Automatisches Berechnen des Radius (alternativ: des Durchmessers) des maximalen inneren Schmiegekreises (Berechnung erfolgt nach der mathematischen Vorschrift: Diss Halbritter)
- Automatisches Berechnen des Verhältnisses des maximalen inneren und des minimalen äußeren Schmiegekreises zueinander. Dies erfolgt wahlweise durch Quotientenbildung aus den Radien, Durchmessern, Flächen, Umfängen beider Kreise. Dabei steht der jeweilige Wert des inneren Schmiegekreises im Zähler und derjenige des äußeren Schmiegekreises im Nenner. Somit zeigt der Zahlenwert 1,0 Identität beider Werte und somit Kongruenz beider Kreise und somit Kreisform des untersuchten Polygons an. Je stärker die beiden Werte voneinander verschieden sind, desto stärker konvergieren sie gegen den Quotienten 0. Je ähnlicher das Polygon der Kreisform ist, desto stärker konvergiert der Quotient dem Zahlenwert 1,0. (Berechnung erfolgt nach der mathematischen Vorschrift: Diss Halbritter)
- Automatische Ermittlung der Anzahl konvexer Segmente im Polygonzug der Konturlinie des Polygons (Berechnung erfolgt nach der mathematischen Vorschrift: Diss Halbritter)
- Automatische Ermittlung der Anzahl konkaver Segmente im Polygonzug der Konturlinie des Polygons (Berechnung erfolgt nach der mathematischen Vorschrift: Diss Halbritter)
- Automatische Ermittlung der Anzahl von Wechseln konvexer und konkaver Segmente im Polygonzug der Konturlinie des Polygons. Der resultierende Wert dient als Undulationsmaß (Maß der Welligkeit des Polygonzugs) der Konturlinie und Ausdruck eventueller Amöboidalität des Flächenelements
- Automatische Vermessung der Länge (der größten Ausdehnung) des Flächenelements (Berechnung erfolgt nach

der mathematischen Vorschrift: Diss Halbritter)

– Automatische Vermessung der Breite (der maximalen Ausdehnung des Flächenelements rechtwinklig zur Richtung seiner größten Ausdehnung) des Flächenelements (Berechnung erfolgt nach der mathematischen Vorschrift: Diss Halbritter)

– Automatische Ermittlung der Ausrichtung des Flächenelements im Raum relativ zu einer Bezugsrichtung. Am Beispiel land- und forstwirtschaftlicher Pflanzenbestände bietet sich die Nordrichtung des geodätischen Bezugssystems an. Dort können plausible Klassen der Ausrichtung beispielsweise sein: Nord-Süd, West-Ost, Nordwest-Südost, Südwest-Nordost. Das Kriterium "Gerichtetsein" ist hierbei gegeben, wenn erfüllt ist: "gerichtet ist das Flächenelement, wenn der Quotient aus seiner Breite und seiner Länge innerhalb eines plausiblen Schwellen- oder Grenzwertes liegt". Dieser Schwellenwert kann je nach Untersuchungsgegenstand und -ziel variabel vorgegeben werden. Er kann etwa betragen Breite/Länge kleiner oder gleich 0,66 (oder: Breite/Länge kleiner oder gleich 0,75). Ist dieses Kriterium nicht erfüllt, also Breite/Länge größer 0,66 (oder: Breite/Länge größer 0,75), so erhält das Flächenelement das Attribut "nicht gerichtet", "ungerichtet", "richtungslos" oder dergleichen. (Berechnung erfolgt nach der mathematischen Vorschrift: Diss Halbritter)

[0128] Des weiteren werden die Orte des Mittelpunkts des inneren und äußeren Schmiegekreises sowie des geometrischen Schwerpunkts des Flächenelements automatisch eingemessen und deren Koordinaten zusammen mit den Koordinaten der Vertices des Umfangpolygons in eine Datei eines Standarddatenformats, vorzugsweise ASCII, geschrieben, wo sie für weiterführende Analysen mit beliebigen Programmen zur Verfügung stehen.

[0129] Desweiteren wird die fraktale Dimension eines einzelnen (geschlossenen) Polygonzugs oder einer (unter dem Aspekt eines Sinnzusammenhangs gebildeten) Schar (geschlossener) Polygonzüge nach den bekannten Verfahren (z. B. bei Stoyan & Stoyan beschrieben: box counting, boundary dilation, Schätzung der lokalen Dimension, Methoden der Punktfeldstatistik, Dimension des Schnittstaubes aus den Schnittpunkten der rauen Originalkurve mit der approximierten glatten Kurve) berechnet.

[0130] Desweiteren werden die bekannten Methoden der multivariaten Statistik eingesetzt (z. B. Diskriminanzanalyse, Hauptkomponentenanalyse, Clusteranalyse).

Analysen zweieinhalbdimensionaler Objektdatensätze (2,5D-Datensätze) mit TREESCAPE

[0131] Siehe oben

Analysen dreidimensionaler Objektdatensätze (3D-Datensätze) mit TREESCAPE

[0132] Siehe oben

Hybride Analysen

[0133] Bei Objekten, deren Einzelkomponenten nicht durchweg eine zusammenhängende sondern eine lückige Oberfläche bilden, ist es v. a. bei Pflanzenverbänden wichtig, zu berechnen, inwieweit der potentiell zur Verfügung stehende Raum (Wuchsraum) von den einzelnen Komponenten (z. B. Einzelbäumen) genutzt wird und wie sich die Standardraumaussnutzung im Laufe eines Zeitraums ggf. verändert hat. Bei der Bewirtschaftung von Wäldern ist das Standardraummanagement ein Kernaspekt waldbaulichen Handelns.

[0134] Die Schätzung des potentiellen optimalen Standardraums der Pflanzen in einem Kollektiv gleichartiger oder verschiedenartiger, gleichaltriger oder ungleichaltriger, gepflanzter oder natürlich angesamer und gewachsener Pflanzen erfolgt durch Gliederung des zweidimensionalen Wuchsrums durch Allokation geschlossener Polygone um die ermittelten Objektzentren (z. B. geometrische Schwerpunkte, Gravitationszentren, Orte der lokalen Höhenmaxima, Zentren der inneren oder äußeren Schmiegekreise) herum. Ein Beispiel solcher Methoden ist die Berechnung der Voronoi-Polygone (s. u.) um die Baumpositionen herum für einen Baumbestand.

Multitemporalanalysen von Objektdatensätzen mit TREESCAPE

[0135] Das oben Beschriebene wird in den zeitlichen Kontext gestellt. Dabei werden Datensätze ausgewertet, die zu verschiedenen Zeitpunkten aufgenommen wurden. Der Zeitdifferenz zwischen den jeweiligen Zeitpunkten ist beliebig, sollte jedoch deutliche Veränderungen des späteren gegenüber dem früheren Zustand aufweisen.

[0136] Es werden die alphanumerischen Resultate miteinander verglichen, Statistiken berechnet, ggf. weiterverarbeitet, ausgedruckt, mit Graphiken illustriert, in Erläuterungsberichte integriert.

[0137] Für die Visualisierungen können leicht Differenzbilder gerechnet und visuell (qualitativ) oder numerisch (quantitativ) ausgewertet werden.

Aufbereitung der Ergebnisse

[0138] Die alphanumerischen Ergebnisse werden gedruckt und illustriert durch die graphische Darstellung aller darstellbaren Größen in einer automatisch generierten Grafikdatei mit einem Standardlayout (siehe beiliegende Abbildungen). Diese Grafikdatei wird in einem Standardgrafikformat (vorzugsweise PostScript, EPS, TIFF, JPEG) gespeichert, zunächst auf dem Bildschirm wiedergegeben und kann optional ausgedruckt oder in andere Dateien (z. B. in Erläuterungsberichte) integriert und weiter verwendet werden.

[0139] Die alphanumerischen Ergebnisse werden in eine Textdatei in einem Standarddatenformat, vorzugsweise ASCII, geschrieben und stehen damit zum Import in jede beliebige Software für jegliche bedarfsweise Weiterverarbeitung

bereit.

[0140] Resultate, die nicht direkt fachspezifisch verwertbare Ergebnisse sind, werden dazu eingesetzt, in Zusammenhang mit relevanten Variablen gesetzt zu werden um auf diese indirekte Weise Fragestellungen zu erklären, sowie neue Erkenntnisse über das untersuchte Objekt und den Untersuchungsraum zu gewinnen.

Weiterverarbeitung der Ergebnisse für die Quantifizierung der morphologischen Charakteristika und Rauigkeit eines 2D-Datensatzes mit TREESCAPE

[0141] Eine erste Art der Weiterverarbeitung für zweidimensionale Flächenobjekte übernimmt das Verfahrens- und Softwarepaket TREESCAPE selbst. Was im geschilderten ersten Schritt für eine einzelne Konturlinie einer einzelnen Flächenelement gemacht wurde, kann angewendet werden auf ein Kollektiv von Flächenelementen. Die Kriterien für die Zusammenstellung eines solchen Kollektivs sind beliebig und Sache des Fachauswerter oder seines Auftraggebers. Entscheidend ist die Plausibilität hinsichtlich der Aufgabenstellung. Fig. 8 illustriert am Beispiel der Höhenschichtenschar in der relativen Höhe $0,6 \times h_{\max}$ (wobei: h_{\max} die maximale Höhe im digitalen Modell ist) eines Vegetationsbestandes, wie ein solches Kollektiv unter einem biologisch plausiblen Aspekt, nämlich der räumlichen Charakteristik der Vegetationsmasse in einer Höhe von zwei Dritteln der maximalen Bestandeshöhe, also im Bereich der Schicht des unteren Kronenraumes, der Unterkronenschicht, gebildet werden kann.

[0142] Diese Resultate können dann, je nach Aufgabenstellung, mit Variablen in einen sinnvollen Zusammenhang gebracht werden. Dies kann durch bekannte statistische Methoden erfolgen, aber auch durch Einsatz von Expertenwissen, auch durch Begutachtung durch Fachinterpreten.

Herausragende Leistungen des Verfahrenspakets

- Automatische Visualisierung der zu beobachtenden, auszuwertenden und zu beurteilenden Objekte durch statische und animierte Ansichten der digitalen Modelle
- Standardisierte Dokumentation räumlicher und struktureller Charakteristika der auszuwertenden und zu beurteilenden Objekte
- Automatische Klassifikation der Objekte anhand der morphologischen und strukturellen Merkmale ihrer digitalen Modelle unter ganzheitlich räumlicher oder selektiver horizontaler oder vertikaler Betrachtung
- Automatische Generierung von Grundlagen für fachliche Urteile oder für den Anwender verwertbarer Zahlenwerte über die analysierten Objekte
- Sofern die automatische Generierung abschließender fachlicher Urteile oder für den Anwender verwertbarer Zahlenwerte über die analysierten Objekte nicht möglich sind: automatisches Erstellen relevanter Vorinformationen (Zahlen- und Bildinformationen) für weitergehende Auswertungen und Schlussfolgerungen durch Fachleute, Vorbereitung fachgutachterlicher Einschätzung (durch Fachinterpreten) unter konkreten Aspekten auf Grundlage der Analyseergebnisse über die beobachteten Objekte (z. B. Interpretation unter einem konkreten Gesichtspunkt der von TREESCAPE automatisch erzeugten alphanumerischen Kenngrößen und/oder graphischen Resultate für die bis zu dieser Stufe automatisch untersuchten und klassifizierten Objekte)

[0143] Insgesamt eignet sich das Verfahrenspaket TREESCAPE für die umfassende Charakterisierung von Objekten mit komplexer Oberflächenmorphologie und -strukturierung. Die von TREESCAPE bereitgestellten Ergebnisse sind entweder Fachinformationen oder Urteile an sich oder erleichtern die Ableitung der eigentlichen Fachinformationen oder Urteile. Wo es nicht erforderlich gewesen ist, weitere Analysen als die in TREESCAPE vorgenommenen in speziellen Quellcode zu formulieren, weil es ab einer gewissen Stufe bereits probate Verarbeitungsmethoden und -werkzeuge (v. a. in Form von Software) gibt, werden durch die Module des Verfahrenspakets TREESCAPE keine Weiterverarbeitungsschritte mehr vorgenommen. Es wird an entsprechender Stelle der Verfahrensbeschreibungen in den geplanten Publikationen auf tatsächliche Möglichkeiten der weiteren Verwendung der Resultate (z. B. mit kommerzieller Standardsoftware, aber auch durch Expertenbeurteilungen) hingewiesen.

[0144] Das Verfahrenspaket TREESCAPE (bzw. einzelne Komponenten daraus) erledigt dadurch folgende Aufgaben:

[0145] Eine umfassende, ganzheitliche, hochgradig automatisiert ablaufende

- Vermessung der Dimension, räumlichen Lage, Form und Gestalt, Anordnung und Verteilung sowie ggf. weiterer messbarer Merkmale (z. B. Vitalität)
- quantitative Zustandserfassung und -beschreibung
- Klassifikation

von Objekten unter ausgeprägter Berücksichtigung ihrer morphometrischen und topometrischen Charakteristika, insbesondere ihrer Grenzschichten.

[0146] Impliziert durch Zuordnen der Messergebnisse, der Schätzwerte und der weiteren Analyseergebnisse zu bestimmten Klassen der Ausprägung eines einzelnen Merkmals oder mehrerer Merkmale:

- Beurteilen der charakterisierten und klassifizierten Objekte nach fachspezifischen Gesichtspunkten des jeweiligen Untersuchungsgegenstandes und nach Vorgaben des Auftraggebers.

[0147] Unter Einbeziehen der erforderlichen Daten und Informationen:

- Bewertung der charakterisierten und klassifizierten Objekte nach Maßgabe der Vorgaben des Auftraggebers unter Berücksichtigung des Untersuchungsgegenstandes sowie fachspezifischer Gesichtspunkte.

[0148] Unter Einbeziehungen von Objektdatensätzen eines zweiten oder mehrerer weiterer Aufnahmezeitpunkte vom selben Objekt oder Ort können innerhalb von TREESCAPE

- Veränderungen des Objekts, seiner Dimensionen, räumlichen Lage, Form und Gestalt, Anordnung und Verteilung sowie ggf. weiterer messbarer Merkmale (z. B. Vitalität, Gesundheitszustand – beide durch Indizien für Entlaunungs- oder Absterbevorgänge ermittelt)

automatisiert vorgenommen werden. Wo dies nicht möglich ist, können entsprechende Schlussfolgerungen durch Fachinterpreten aus TREESCAPE-Resultaten gezogen werden.

[0149] Auf die rein quantitative Ermittlung (Messung oder Schätzung) eingetretener Veränderungen aufbauend können in Zusammenschau mit anderen Fakten unter Umständen

- Schlussfolgerungen gezogen werden auf die konkrete Ursache(n), Ursachen-Wirkungs-Mechanismen, Ursachen-Wirkungs-Systeme, Gesetzmäßigkeiten etc., welche zu der gemessenen Veränderungen gegenüber einem Bezugszustand sicher geführt, geführt haben könnten oder zwangsläufig haben führen müssen.

[0150] Die Korrelation oder das sonstige Inbezugsetzen der TREESCAPE-Resultate zu anderen Daten und Informationen stellt einen bedeutenden Aspekt bei dem Einsatz des Verfahrenspakets dar. Dabei sind nur durch Plausibilität und Sachkunde des Auswerters oder Anliegen des Auftraggebers Grenzen gesetzt.

Einschränkungen beim Einsatz von TREESCAPE

[0151] Eine Bewertung kann innerhalb des Verfahrens TREESCAPE nur dann automatisiert vorgenommen werden, wenn eindeutige Vorgaben (anerkannte Klassifikationsschlüssel oder gesichertes Erfahrungswissen) vorliegen und in die Klassenbildung und Klassengrenzensetzung eingeflossen sind. In Auswerteprozessen, in welchen solche Vorgaben nicht vorliegen, können Bewertungen vorgenommen werden durch Fachinterpreten (Fachleute, welche ihre Bewertung aufgrund von Resultaten des TREESCAPE-Verfahrens vornehmen können). Soweit die Bewertungen nicht direkt in Voreinstellungen der relevanten TREESCAPE-Module ihren Niederschlag finden und zu Resultaten führen, welche bereits Wertungen enthalten oder Wertungen sind, können die Bewertungen an beliebiger Stelle getroffen werden.

Vorteile des weitgehend digitalen und automatisierten Ansatzes und Vorgehens

[0152] Die für eine Bewertung erforderlichen numerischen Grundlagendaten und/oder alphanumerischen oder graphischen Informationen können entweder in digitaler oder analoger Form an kompetente Stellen gesendet werden. Bei Versendung in digitaler Form eignet sich das Internet als Trägermedium (mit Datentransfers z. B. durch FTP oder Email oder durch Zugriff auf die Ergebnisse oder online-Bearbeitung den Datenbestandes per Telnnet). Hierdurch wird eine enge Kooperation zwischen Auftraggeber, Projektleiter und Bearbeiter gewährleistet und optimale Zeit- und Ressourceneffizienz gewährleistet. Dies gilt auch hinsichtlich des Aspekts der Verifizierung der Zwischen- und Endergebnisse der TREESCAPE-Verfahrens-anwendung.

Wirkungsweisen, Relevanz, Nutzen und Anwendungsgebiete des Verfahrens- und Softwarepakets TREESCAPE

[0153] Die Verfahren des Verfahrenspakets TREESCAPE, fachspezifisch sinnvoll angewandt, liefern Grundlagendaten und -informationen, eignen sich und sind nützlich für folgende Anwendungen in Praxis und Forschung räumlich definierter oder definierbarer Objekte:

- Klassifikation der untersuchten Objekte anhand der Resultate vorgenannter Analysen unter den jeweiligen fachspezifischen Gesichtspunkten
- Schätzung der Wahrscheinlichkeiten von Vorkommen, Nichtvorkommen, Häufigkeiten etc. von Objekten (welche direkt in den verwendeten Datensätzen erkennbar oder zumindest implizit in ihnen dokumentiert und zu detektieren sind) an sich oder von qualitativen oder quantitativen Merkmalen oder Eigenschaften solcher Objekte
- Schließende (konkludierende) Schätzungen von Anzahlen, Dimensionen, Qualitäten, Merkmalen, Eigenschaften etc. solcher direkt oder implizit in den ausgewerteten Datensätzen vorhandenen Objekte für den durch Vollaufnahme oder Stichproben untersuchten n-dimensionalen Raum (z. B. auf objekt- oder objektgruppen- oder objekt-klassenbezogener, lokaler, landschaftlicher, regionaler oder globaler Ebene betrachtet) per se (wissenschaftlich) oder unter dem Aspekt der Ressourcenerkundung (Prospektion, ökonomisch oder wissenschaftlich motiviert), Ressourcennutzung (Exploitation), Ressourcenschutz, also Ressourcenplanungen im weitesten Sinn
- Ursachenanalysen von Vorkommen, Nichtvorkommen, Mengen, Massen, Volumina, Qualitäten der bezeichneten, direkt oder implizit in den Datensätzen zu identifizierenden oder zu schätzenden Objekte zu einem konkreten Zeitpunkt
- Ursachenanalysen der Veränderungen von Vorkommen, Nichtvorkommen, Mengen, Massen, Volumina, Qualitäten der bezeichneten, direkt oder implizit in den Datensätzen zu identifizierenden oder zu schätzenden Objekte in einem Zeitintervall

- [0154] Gerade in den letztgenannten Bereichen, dem Ermöglichen von fachlichen Schlussfolgerungen durch Bewertung und Ursachenanalysen aufgrund eines neuartigen und umfassenden Informationsstandes, ist TREESCAPE als Verfahren- und als Softwarepaket besonders geeignet, wissenschaftliche Untersuchungen zu unterstützen.

Praxis der Datenerhebung, Zustandserfassung und -dokumentation

- [0155] Im Übrigen eignen sich bestimmte TREESCAPE-Verfahrensbausteine und Softwaremodule dazu, einige bedeutende und arbeitsintensive oder nicht quantitativ durchzuführende Arbeiten der Praxis zu rationalisieren, zu verbessern oder überhaupt erst zu ermöglichen. Sie sind auch geeignet, Zusammenhänge oder Abhängigkeiten (auch Interdependenzen) zwischen Sachverhalten mess- oder einschätzbarer Objekte mit nicht direkt mess- oder einschätzbaren Objekten zu erforschen, aufzudecken und zu quantifizieren oder qualitativ zu bewerten. Im folgenden werden Beispiele hierfür genannt.

Vegetationsbestände

- [0156] Wälder, Parks, Gärten, landwirtschaftliche Kulturen, landwirtschaftliche Sonderkulturen (auch Hochertragskulturen wie Kakao, Kaffee, Öl, Gummi), Brachland, Steppen, Savannen und anderer terrestrischer oder ganz oder teilweise submerser Vegetation. Einsatz bei der Ermittlung von Sachverhalten und bei der Prospektion und Exploitation oberflächennaher oder auf der Oberfläche befindlicher, fossiler, erneuerbarer oder sich selbst regenerierender biotischer oder abiotischer, Ressourcen, auch zur Erkundung von Naturräumen unter den Aspekten der Entdeckung, Lokalisierung, Förderung, Transport und Gewinnung von biotischen (pflanzlichen, tierischen oder anderen) oder abiotischen (mineralischen, metallischen, wässrigen, flüssigen, gasförmigen und anderen) Nutstoffen, Rohstoffen, Baustoffen, Werkstoffen, Wirkstoffen, Chemikalien, Geweben, Organen, Genotypen, Phänotypen, generativem Material, pflanzlichem, tierischem oder anderem Genmaterial etc.

Landschaften, Landschaftsbestandteile, Landschaftsausschnitte

- [0157] Schätzung von Anzahlen, Dichten, Massen, Volumina, Gewichten, Dimensionen, Vorkommen, Abwesenheit, zeitlichen Dynamiken des Auftretens oder der Charakteristika von abiotischen (mineralischen, metallischen, wässrigen, flüssigen, gasförmigen und anderen) oder biotischen (pflanzlichen, tierischen und anderen) Sachverhalten, Organismen, Populationen etc., insbesondere von Biomassen und ihrer räumlichen und individuellen Verteilungen sowie zeitlichen Dynamiken durch Inbezugsetzen mit Resultaten der TREESCAPE-Verfahren, angewendet insbesondere auf Fragestellungen aus den Bereichen

- Erkundung und Beobachtung von Vorräten und Vorratsveränderungen
- Erkundung und Beobachtung von Qualitäten und Qualitätsveränderungen
- Erkundung und Beobachtung von Charakteristika und deren Veränderungen

insbesondere auch unter dem Aspekt der Quantifizierung der biologischen Vielfalt (Biodiversität), der geologischen Vielfalt (Geodiversität), sowie der strukturellen und morphologischen Vielfalt von Objekten, Merkmalen und Phänomenen aller Art auf lokaler, landschaftlicher, regionaler oder globaler Betrachtungsebene.

Geländeoberfläche

- [0158] Jegliches Gelände über oder unter der Wasseroberfläche. Einsatz bei der Ermittlung von Sachverhalten und bei der Prospektion und Exploitation oberflächennaher oder auf der Oberfläche befindlicher, fossiler, erneuerbarer oder sich selbst regenerierender biotischer oder abiotischer, Ressourcen, auch zur Erkundung von Räumen, Flächen, Orten etc. unter den Aspekten der Entdeckung, Lokalisierung, Förderung, Transport und Gewinnung von abiotischen Nutstoffen oder biotischen (pflanzlichen, tierischen oder anderen) Rohstoffen, Baustoffen, Werkstoffen, Wirkstoffen, Chemikalien, Geweben, Organen, Genotypen, Phänotypen, generativem Material, pflanzlichem, tierischem oder anderem Genmaterial etc.

Geologische Schichten (Straten)

[0159] Geologische Schichten jeglicher Art, Dichte, Mächtigkeit, Tiefe und Genese. Einsatz bei der Ermittlung von Sachverhalten und bei der Prospektion und Exploitation geologischer, fossiler, erneuerbarer oder sich selbst regenerierender, Ressourcen.

Astronomische Objekte

- [0160] Astronomische Objekte, welche anhand einer Oberfläche, einem Volumen oder anders dargestellt werden können, wie z. B. Asteroiden, Planeten, Sterne, Sternhaufen, Galaxien, Nebel, sowie Details oder Objekte in ihnen oder an deren Oberfläche

[0161] Objekte aller Art und aller Materialien

Bauteile

5

[0162] Objekte aller Art und aller Materialien

Andere Objekte, Objekträume und Oberflächen

10

[0163] Wo immer der Einsatz der TREESCAPE-Verfahren geeignet ist, fachspezifische Aufgaben oder Fragestellungen zu bearbeiten, Problemlösungen zu erarbeiten oder zu Problemlösungen beizutragen

[0164] Bisher werden die durch das Verfahrenspaket TREESCAPE erbrachten Leistungen und zu leistenden Aufgaben besorgt wie folgt:

Siehe beiliegende Literaturliste (Anhang)

15

Unterschiede zu herkömmlichen Verfahren

[0165] Das Verfahrenspaket TREESCAPE unterscheidet sich von derzeit in der Praxis eingesetzten Verfahren:

20

- durch weitgehende Automatisierung und Flexibilität beim Einsatz und bei Erarbeitungen von herkömmlichen oder neuen Lösungsansätzen und bei der Gewinnung neuer Erkenntnisse über die untersuchten Objekte sowie über Objekte, Merkmale, Sachverhalte, Phänomene etc., welche in einem Zusammenhang mit diesen stehen oder stehen könnten.
- durch Rationalisierung bisheriger Daten- und Informationsgewinnungsschritte
- durch Objektivierung von Sachverhalten durch weitestgehende Neutralität der Informationsgenerierung durch streng quantitative, wertfreie Ansätze
- durch Verfahrensentwicklungen speziell für die verwendeten Typen von Datensätzen und für die zukünftig zu bearbeitenden Fragestellungen in den genannten und anderen Fachgebieten
- durch Unabhängigkeit von branchenüblicher Standard-Software

25

30

Einsatz des Verfahrenspakets TREESCAPE

[0166] Jede Komponente des Verfahrenspakets kann grundsätzlich unabhängig von anderen eingesetzt werden, sofern es nicht auf Resultate anderer Module angewiesen ist.

35

[0167] Visualisierungen empfehlen sich grundsätzlich, vor der Wahl von Analyseschritten eingesetzt zu werden.

[0168] Visualisierungen empfehlen sich besonders zur Gewinnung eines Überblicks über das Untersuchungsgebiet oder -objekt, zur Diskussion möglicher Schlussfolgerungen vor der Entscheidung weiterer Auswerteschritte, zur Diskussion wichtiger Schlussfolgerungen vor der Publikation und zur Präsentation von Ergebnissen in Schriftform oder in Vorträgen. Dynamische Visualisierungen empfehlen sich besonders, wenn der Objektraum sehr gründlich visuell zu beurteilen ist.

40

[0169] Die Generierung alphanumerischer Resultate dient einerseits zur direkten Ergebnisgewinnung, andererseits können sie in weitere Auswertungen innerhalb oder außerhalb des Verfahrenspakets TREESCAPE einfließen.

[0170] Im Übrigen gilt das bereits in diesem Text und in der Dissertation Halbritter Gesagte. Weitere Einsatzbereiche über die Kernanwendungen hinaus

45

[0171] Über die Kernanwendungen, innerhalb deren Aufgabenstellungen die Verfahren entwickelt wurden, hinaus kann TREESCAPE insgesamt oder in einzelnen Modulen angewendet werden auf:

Andere Formen von Vegetation

50

[0172] Wälder, Parks, Gärten, landwirtschaftliche Kulturen, landwirtschaftliche Sonderkulturen (auch Hochertragskulturen wie Kakao, Kaffee, Öl, Gummi), Brachland, Steppen, Savannen und anderer terrestrischer oder ganz oder teilweise submerser Vegetation. Einsatz bei der Ermittlung von Sachverhalten und bei der Prospektion und Exploitation oberflächennaher oder auf der Oberfläche befindlicher, fossiler, erneuerbarer oder sich selbst regenerierender biotischer oder abiotischer, Ressourcen, auch zur Erkundung von Naturräumen unter den Aspekten der Entdeckung, Lokalisierung, Förderung, Transport und Gewinnung von biotischen (pflanzlichen, tierischen oder anderen) oder abiotischen (mineralischen, metallischen, wässrigen, flüssigen, gasförmigen und anderen) Nutstoffen, Rohstoffen, Baustoffen, Werkstoffen, Wirkstoffen, Chemikalien, Geweben, Organen, Genotypen, Phänotypen, generativem Material, pflanzlichem, tierischem oder anderem Genmaterial etc.

55

60

Landschaften, Landschaftsbestandteile, Landschaftsausschnitte

[0173] Schätzung von Anzahlen, Dichten, Massen, Volumina, Gewichten, Dimensionen, Vorkommen, Abwesenheit, zeitlichen Dynamiken des Auftretens oder der Charakteristika von abiotischen (mineralischen, metallischen, wässrigen, flüssigen, gasförmigen und anderen) oder biotischen (pflanzlichen, tierischen und anderen) Sachverhalten, Organismen, Populationen etc., insbesondere von Biomassen und ihrer räumlichen und individuellen Verteilungen sowie zeitlichen Dynamiken durch Inbezugsetzen mit Resultaten der TREESCAPE-Verfahren, angewendet insbesondere auf Fragestel-

65

lungen aus den Bereichen

- Erkundung und Beobachtung von Vorräten und Vorratsveränderungen
- Erkundung und Beobachtung von Qualitäten und Qualitätsveränderungen
- 5 – Erkundung und Beobachtung von Charakteristika und deren Veränderungen

insbesondere auch unter dem Aspekt der Quantifizierung der biologischen Vielfalt (Biodiversität), der geologischen Vielfalt (Geodiversität), sowie der strukturellen und morphologischen Vielfalt von Objekten, Merkmalen und Phänomenen aller Art auf lokaler, landschaftlicher, regionaler oder globaler Betrachtungsebene.

10

Geländeoberflächen

- [0174] Jegliches Gelände über oder unter der Wasseroberfläche. Einsatz bei der Ermittlung von Sachverhalten und bei der Prospektion und Exploitation oberflächennaher oder auf der Oberfläche befindlicher, fossiler, erneuerbarer oder sich selbst regenerierender biotischer oder abiotischer Ressourcen, auch zur Erkundung von Räumen, Flächen, Orten etc. unter den Aspekten der Entdeckung, Lokalisierung, Förderung, Transport und Gewinnung von abiotischen Nutzstoffen oder biotischen (pflanzlichen, tierischen oder anderen) Rohstoffen, Baustoffen, Werkstoffen, Wirkstoffen, Chemikalien, Geweben, Organen, Genotypen, Phänotypen, generativem Material, pflanzlichem, tierischem oder anderem Genmaterial etc.

20

Geologische Schichten (Straten)

- [0175] Geologische Schichten jeglicher Art, Dichte, Mächtigkeit, Tiefe und Genese. Einsatz bei der Ermittlung von Sachverhalten und bei der Prospektion und Exploitation geologischer, fossiler, erneuerbarer oder sich selbst regenerierender Ressourcen.

25

Astronomische Objekte

- [0176] Astronomische Objekte, welche anhand einer Oberfläche, einem Volumen oder anders dargestellt werden können, wie z. B. Asteroiden, Planeten, Sterne, Sternhaufen, Galaxien, Nebel, sowie Details oder Objekte in ihnen oder an deren Oberfläche

30

Werkstoffe

- [0177] Objekte aller Art und aller Materialien

35

Bauteile

- [0178] Objekte aller Art und aller Materialien

40

Andere Objekte, Objekträume und Oberflächen

- [0179] Wo immer der Einsatz der TREESCAPE-Verfahren geeignet ist, fachspezifische Aufgaben oder Fragestellungen zu bearbeiten, Problemlösungen zu erarbeiten oder zu Problemlösungen beizutragen

45

- [0180] Schutz wird beantragt für folgende, auch erst zukünftig sich ergebende, Leistungen, Tätigkeiten und Aufgaben

Allgemeines

- [0181] Analysen räumlich definierter oder definierbarer Objekte jeglicher Art und jeglichen Maßstabs, vorzugsweise der oben genannten Fachgebiete, mit dem Ziel, diese unter fachspezifischen Aspekten systematisch zu erfassen, zu dokumentieren, zu klassifizieren, zu ordnen, unter fachspezifischen Aspekten zu schätzen, auch zu bewerten und aus ihrem Vorhandensein/Nichtvorhandensein, ihrer absoluten oder relativen Häufigkeit, ihrer Charakteristika (Dimensionen, Formen, Gestalten, Geometrien, Topologien, Qualitäten, Eigenschaften) oder der Ausprägung ihrer Merkmale und Attribute fachspezifische Schlüsse zu ziehen sowie in deren Bedeutungen für andere Objekte darzustellen, zu charakterisieren, zu klassifizieren, zu bewerten, zu studieren und zu begreifen, sowie um Objekte, Phänomene, Veränderungen und Entwicklungen, welche in einem Sinn-, Kausal- oder anderem Zusammenhang mit diesen stehen, darzustellen, zu charakterisieren, zu klassifizieren, zu bewerten und, zu studieren und zu begreifen.

55

- [0182] Das Ziehen von Schlussfolgerungen in beide Richtungen:

- von den in den untersuchten Datensätzen zu einem Zeitpunkt messbar oder statistisch einschätzbar vorhandenen Sachverhalten und Informationen hin zu Objekten, Eigenschaften, Attributen, Sachverhalten, Phänomenen, Ursachen, Wirkungen etc., sowie Veränderungen derselben, welche nicht in diesen messbar oder statistisch einschätzbar vorhanden sind

60

65 aber auch

- von Objekten, Eigenschaften, Attributen, Sachverhalten, Phänomenen, Ursachen, Wirkungen, Intensitäten etc., sowie Veränderungen derselben, welche nicht in den untersuchten Datensätzen messbar oder statistisch einschätz-

bar vorhanden sind, ausgehenden Wirkungen auf die in den untersuchten Datensätzen messbar oder statistisch einschätzbar vorhandenen Sachverhalte und Informationen sowie deren Ursachen, Wirkungen, Intensitäten etc.

[0183] Dies gilt auch für fachliche Schlussfolgerungen aus Veränderungen beider Gruppen innerhalb eines Zeitintervalls. 5

[0184] Dies umfasst auch das Ziehen von Schlussfolgerungen über mögliche oder wahrscheinliche Ursachen und Wirkungen zum Studium vergangener Prozesse sowie für die Optimierung zukünftiger Tätigkeiten oder Unterlassungen (Variantenstudien, Szenarienmodellierungen, Planungen, Anordnungen, Gebote, Verbote, Handlungen etc.).

Konkrete Vorhaben 10

[0185] Für folgende Einsätze wurde das Verfahrenspaket TREESCAPE entwickelt:

Weitestgehend automatisierte Kartenerzeugung über Waldbestände 15

- Weitestgehend automatisierte Ermittlung und Kartierung der Koordinaten der Positionen von Waldbäumen und Analysen der Charakteristika der Individualverteilung der Bäume im Bestand
- Weitestgehend automatisierte Ermittlung und Kartierung der Koordinaten von überschirmungsfreien Stellen im Wald und Analysen der Individualverteilung der Bestandesblößen im Wald 20

[0186] Weitestgehend automatisierte Muster-, Form und Objekterkennung in komplexen Oberflächenmodellen (in Ingenieurwissenschaften allgemein) 25

- Abtasten und Transformation einzelner Höhenprofile mit Wavelets und anderen Testsignalen
- Abtasten und Transformation ganzer Oberflächen mit Wavelets und anderen Testsignalen
- Abtasten von Oberflächen mit flexiblen Hohlformen (Fitting) 25

[0187] Weitgehend automatisierte Extraktion relevanter Merkmale aus digitalen Waldoberflächenmodellen durch hochseparierende Muster- und Formerkennung 30

- Weitestgehend automatisierte Lokalisierung einzelner Waldbäume in digitalen Waldoberflächenmodellen
- Weitestgehend automatisierte quantitative Analysen der Rauigkeit der Oberfläche von Wäldern
- Weitestgehend automatisierte Analyse der Verteilungsmuster von Bäumen innerhalb eines Waldbestandes
- Transformationen mit Wavelets und anderen Testsignalen zur Lokalisierung und Identifikation von Waldbäumen in digitalen Waldoberflächenmodellen 35
- Fitting von Formmodellen zur Lokalisierung und Identifikation von Waldbäumen in digitalen Waldoberflächenmodellen
- Anwendung von Methoden fraktaler Geometrie für die Analyse von 3D-Waldmodellen: Bestimmung der fraktalen Dimension von Höhenprofilen und Oberflächen
- Korrelation mehrerer, auch verschiedenartiger, Objektbestandteile miteinander 40

Nutzen des Einsatzes von Morphologiedaten in der Fernerkundung von Waldbeständen: Methodenvergleich mit spektralen Daten 45

- Nutzen des Einsatzes von Waldmorphologiedaten für Mehrzweck-Waldinventuren und Waldmonitoringsysteme, auch für die Forsteinrichtung und für nationale Waldinventuren
- Nutzen des Einsatzes von Waldmorphologiedaten für ertragskundliche Inventuren und Überwachung der Zustandsveränderungen des Waldes
- Nutzen des Einsatzes von Waldmorphologiedaten für waldökologische Inventuren und Überwachung der Zustandsveränderungen des Waldes 50

Inventur von mehrstufigen, mehrschichtigen Mischwäldern in Zeiten naturnaher Waldbewirtschaftung

- Weitestgehend automatisierte quantitative Charakterisierung von strukturreichen Waldbeständen durch Fernerkundung anhand von Analysen digitaler Waldoberflächen- oder Volumen- oder Quasi-Volumenmodelle 55
- Weitestgehend automatisierte quantitative Zustandserfassung strukturreichen Waldbeständen durch Fernerkundung anhand branchenüblicher und neuartiger Vorgaben und Pflichtenhefte

Waldbiotopkartierung (WBK) und Fernerkundung: die Kartierung der Naturnähe, Vielfalt, Seltenheit, Gefährdung und Repräsentanz von Waldbiotopen auf den Betrachtungsebenen einzelner Bestände, ganzer Landschaften und großer Regionen 60

- Rationalisierung von Waldbiotopkartierungen aus der Luft – Bis zu welchem Detaillierungsgrad, mit welcher Sicherheit und mit welcher Genauigkeit können digitale Waldoberflächenmodelle die WBK durch weitgehende Automatisierung der Erhebung ökologisch relevanter Strukturmerkmale unterstützen? 65
- Naturnähe, Vielfalt, Seltenheit, Gefährdung und Repräsentanz bestimmter Waldbiotope – welchen Beitrag kann Fernerkundung heute und in Zukunft für deren quantitative Erfassung leisten?

Waldbiodiversität und Fernerkundung

- Weitgehend automatisierte quantitative Erfassung echter Indikatoren für biologische Vielfalt in Wäldern: horizontale und vertikale Strukturen in den Kronendächern von Wäldern, Objekterfassung, -lokalisierung und Klassifizierung von Baumgruppen, Einzelbäumen und Baumbestandteile
- Weitgehend automatisierte Charakterisierung von Waldbeständen durch Fernerkundung
- Weitgehend automatisierte Analyse horizontaler und vertikaler Waldstrukturen durch Fernerkundung
- Erforschung der Zusammenhänge zwischen floristischen Befunden im Wald und den horizontalen und vertikalen Waldstrukturen
- Interdependenzen zwischen ausgewählten Moosen und Farnen und Waldstrukturen, v. a. des Kronenraums
- Interdependenzen zwischen ausgewählten Blütenpflanzen der Krautschicht und Waldstrukturen, v. a. des Kronenraums
- Interdependenzen zwischen ausgewählten Flechtenarten und Waldstrukturen, v. a. des Kronenraums
- Nutzung der Kenntnisse über die Zusammenhänge zwischen floristischen Befunden im Wald und den horizontalen und vertikalen Waldstrukturen für eine weitgehende Automatisierung der Gewinnung forstwirtschaftlicher und waldökologischer Erkenntnisse
- Interdependenzen zwischen der Abundanz ausgewählter Pflanzenarten und Waldstrukturen, v. a. des Kronenraums
- Identifizierung und Operationalisierung floristischer Indikatoren für den Waldzustand in ökonomischer und ökologischer Hinsicht (gemessen anhand unterschiedlicher Kriterien)
- Erforschung der Zusammenhänge zwischen faunistischen Befunden im Wald und den horizontalen und vertikalen Waldstrukturen, v. a. des Kronenraums
- Interdependenzen zwischen ausgewählten Insektenarten und Waldstrukturen, v. a. des Kronenraums
- Interdependenzen zwischen ausgewählten Reptilien- und Amphibienarten und Waldstrukturen, v. a. des Kronenraums
- Interdependenzen zwischen ausgewählten Arten der Bodenmakrofauna und Waldstrukturen, v. a. des Kronenraums
- Interdependenzen zwischen ausgewählten Molluskenarten und Waldstrukturen, v. a. des Kronenraums
- Interdependenzen zwischen ausgewählten Vogelarten und Waldstrukturen, v. a. des Kronenraums
- Interdependenzen zwischen ausgewählten Säugetierarten und Waldstrukturen, v. a. des Kronenraums
- Nutzung der Kenntnisse über die Zusammenhänge zwischen faunistischen Befunden im Wald und den horizontalen und vertikalen Waldstrukturen für eine weitgehende Automatisierung der Gewinnung forstwirtschaftlicher, waldökologischer, biologischer und anderer Erkenntnisse
- Interdependenzen zwischen Insektenfraß an Waldbäumen und Waldstrukturen, v. a. des Kronenraums
- Interdependenzen zwischen Wildverbißschäden an Waldbäumen und Waldstrukturen, v. a. des Kronenraums
- Identifizierung und Operationalisierung faunistischer Indikatoren für den Waldzustand in ökonomischer und ökologischer Hinsicht (gemessen anhand unterschiedlicher Kriterien)
- Entwickeln, Operationalisieren und Implementieren eines Indikatorsystems für den Waldzustand, gestützt auf Informationen aus digitalen Waldoberflächen-, Volumen- und Quasi-Volumenmodellen
- Entwickeln, Operationalisieren und Implementieren eines Indikatorsystems für den Waldzustand, gestützt auf spektrale Informationen über den Wald sowie auf morphostrukturelle Informationen aus digitalen Waldoberflächenmodellen
- Nutzung operationalisierter Indikatorsysteme für die Identifizierung und Evaluierung von Wäldern mit dem Ziel der Steigerung der Effektivität der Exploration bestimmter Waldressourcen (Holz- und Nischholzprodukte)
- Beobachtung und Überwachung des Waldzustandes, gestützt auf Fernerkundungs- und relevanten georeferenzierten Attributdaten

Klassifikation von Waldbeständen für die Gewinnung waldwachstumskundlicher, ertragskundlicher, waldökologischer und anderer Informationen durch Fernerkundung

- Weitestgehend automatisierte Klassifikation von Waldbeständen anhand von Spektraldaten
- Weitestgehend automatisierte Klassifikation von Waldbeständen anhand von Morphologiedaten
- Weitestgehend automatisierte Klassifikation von Waldbeständen anhand einer Kombination von Spektral- und Morphologiedaten

Verteilung der Bäume innerhalb von Waldbeständen

- Weitestgehend automatisierte Ermittlung der Individualverteilung von Bäumen
- Weitestgehend automatisierte Analyse der Aggregation und Segregation von Bäumen

Vorratsermittlung in Waldbeständen durch Fernerkundung

- Weitestgehend automatisierte Ermittlung des Stammholzvorrats durch Analyse digitaler Waldoberflächenmodelle
- Weitestgehend automatisierte Ermittlung des Biomassevorrats durch Analyse digitaler Waldoberflächenmodelle

Zuwachsermittlung in Waldbeständen durch Fernerkundung zum Zwecke der Optimierung waldbaulicher Behandlungsmodelle

- Weitestgehend automatisierte Ermittlung des Stammholzzuwachses durch multitemporale Analysen von digitalen Waldoberflächenmodellen 5
- Weitestgehend automatisierte Ermittlung des Biomassezuwachses durch multitemporale Analysen von digitalen Waldoberflächenmodellen

Betriebswirtschaftliche Erfolgskontrolle waldbaulicher Pflegemaßnahmen und Evaluierung getätigter Investitionen in einen Wirtschaftswald 10

- Weitestgehend automatisierte Ermittlung der Vorratsveränderungen im Wald nach der Durchführung waldbaulicher Pflegemaßnahmen

Erfassung des Ausmaßes von lokalen und flächenhaften Waldschäden z. B. nach Naturkatastrophen oder aufgrund von Umwelt-Impakt 15

- Weitestgehend automatisierte Erfassung des Ausmaßes (Fläche, Vorrats- und Wertverlust) von lokalen und flächenhaften Waldschäden nach Insektenkalamitäten anhand digitaler Waldoberflächenmodelle 20
- Weitestgehend automatisierte Erfassung des Ausmaßes (Fläche, Vorrats- und Wertverlust) von Waldschäden nach lokalen und flächenhaften Sturm- und Schneebrüchen und -würfen anhand digitaler Waldoberflächenmodelle
- Weitestgehend automatisierte Erfassung des Ausmaßes (Fläche, Vorrats- und Wertverlust) von Waldschäden nach lokalen und flächenhaften Waldbränden anhand digitaler Waldoberflächenmodelle
- Weitestgehend automatisierte Erfassung des Ausmaßes (Fläche, Vorrats- und Wertverlust) von lokal und flächenhaft auftretenden Waldschäden aufgrund von Umwelteinflüssen anhand digitaler Waldoberflächenmodelle 25

Untersuchungen über die Aerodynamik an den Grenzflächen von Wäldern sowie deren Auswirkungen auf die Waldbestände und ihre Umgebung

- Untersuchungen über die Auswirkungen lokaler und flächenhafter Verluste von Grünästen und Bäumen auf das Strömungsverhalten der Luft an den Grenzflächen von Waldbeständen durch Analyse von digitalen Waldoberflächenmodellen 30
- Untersuchungen über die Auswirkungen von Veränderungen der Luftströmungsverhältnisse an der Oberfläche von Waldbeständen auf deren Biomasseproduktion
- Untersuchung über Veränderungen im Transpirationsverhalten von Waldbeständen an deren Grenzflächen mit der Atmosphäre anhand von digitalen Waldoberflächenmodellen 35
- Weitgehend automatisierte Gewinnung von Kenntnissen über die Luftströmungsverhältnisse an der Außenfläche (Oberfläche, Innen- und Außenränder) von Waldbeständen und ihre Interdependenzen mit der unbewaldeten Umgebung 40

Untersuchung von Zusammenhängen zwischen lokalen und bestandesweisen Kronendachstrukturen und den Standortverhältnissen im Wald (v. a. des Humuszustands, der Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit sowie des jeweiligen standörtlichen Wuchspotentials, unter Berücksichtigung von Hangneigung, Exposition und anderen Standortfaktoren)

- Einfluss der örtlichen und zeitlichen Variationen der Dimensionen (vertikale Mächtigkeit und horizontale Dichte) des Kronendaches eines Waldbestandes auf den Humuszustand, den Wasser- und Nährstoffhaushalt sowie die Produktivität des Waldbodens. 45

Wechselwirkungen zwischen Waldstrukturen, dem allgemeinen waldbaulichen Pflegezustand, v. a. den Bestandes-schlußverhältnissen dem Überschirmungsgrad, dem Bestockungsgrad und der natürlichen Verjüngung der Wälder 50

- Reaktion der Standortverhältnisse (des Humuszustandes, des Wasser- und Nährstoffhaushalts sowie der Produktivität des Waldbodens) in Wäldern auf Verluste und künstliche Entnahmen von Bäumen und Konsequenzen für die Naturverjüngung. Untersuchung anhand des quantitativen Vergleichs von digitalen Waldoberflächenmodellen verschiedener Jahre 55

Erforschung der Grundlagen für die automatische Charakterisierung und Klassifizierung von Wäldern anhand morphometrischer Fernerkundung (v. a. digitaler Waldoberflächen-, Volumen- und Quasi-Volumenmodelle)

- Entwicklung einer Systematik von Wäldern (Wirtschafts- und Naturwäldern) anhand morphostruktureller Merkmale ihres Kronendachs 60
- Entwicklung eines operationellen Verfahrens zur weitgehend automatisierten Klassifikation von Waldbeständen im Zuge der routinemäßigen ertragskundlichen, walddökologischen und phytosanitären Waldinventuren unter dem Aspekt morphostruktureller Merkmale des Kronendachs
- Entwicklung eines operationellen Verfahrens zur weitgehend automatisierten Ableitung forstwirtschaftlich und walddökologisch relevanter Informationen über Wälder im Zuge routinemäßig durchzuführender Mehrzweck-Waldmonitoringsysteme (multitemporaler ertragskundlicher, walddökologischer und phytosanitärer Waldinventuren) anhand sich morphostrukturell manifestierender Merkmale des Kronendachs 65

- Entwicklung eines operationellen integrierten Verfahrens zur weitgehend automatisierten Ableitung forstwirtschaftlich und waldökologisch relevanter Informationen über Wälder im Zuge routinemäßig durchzuführender Mehrzweck-Waldmonitoringsysteme (multitemporaler ertragskundlicher, waldökologischer und phytosanitärer Waldinventuren) durch Kombination von sich spektral sowie morphostrukturell manifestierender Merkmale des Kronendachs

Weitere besondere Ansprüche für die Anwendungen auf Wälder, bewaldete Landschaftsräume und andere Vegetationsflächen

- [0188] Forstwirtschaftlich und waldökologisch, sowie für den Biotop-, Arten- und Prozessschutz, aber auch bioklimatologisch bedeutsam sind Bestandesmittelhöhen (Kramer & Akça 1995). Diese lassen sich automatisch unmittelbar aus diesen Höhenmessungen eines ganzen Waldes schätzen. Dieser direkte Weg liefert Mittelhöhen ohne den Umweg über Durchmesserkorrelationen der Stämme in 1,3 m Höhe über dem Waldboden (Brusthöhendurchmesser BHD) in den noch immer weltweit verbreiteten terrestrischen Waldaufnahmen (in Deutschland: bei der Waldaufnahme für die Forsteinrichtung).
- [0189] Forstwirtschaftlich und waldökologisch, sowie für den Biotop-, Arten- und Prozessschutz, aber auch bioklimatologisch bedeutsam ist die Bestandesdichte oder Bestockungsdichte eines Waldes, also die Anzahl von Bäumen je Flächeneinheit (i. d. R. je Hektar oder Quadratkilometer).
- [0190] Forstwirtschaftlich und waldökologisch, sowie für den Biotop-, Arten- und Prozessschutz, aber auch bioklimatologisch bedeutsam ist die Biomasse, insbesondere deren Vorrat und Vorratsveränderung innerhalb eines Zeitraums.
- [0191] Die Biomasse von Bäumen wird normalerweise gegliedert in Stammholz, Kronenholz, Laub und Wurzeln. Dabei können Dimensionskriterien und Qualitätskriterien berücksichtigt werden.
- [0192] Die Biomasse von anderen Pflanzen kann gegliedert werden nach unterschiedlichen Aspekten, z. B. nach Zugehörigkeit zu vertikalen Schichten (Höhenstraten wie z. B. Mooschicht, Krautschicht, Strauchschicht, Baumschicht; unterer, mittlerer, oberer Kronenraum) im Wald.
- [0193] Die (nach Pflanzenorganen differenzierte oder undifferenzierte) Biomasse kann auch gegliedert werden nach anderen räumlichen Aspekten wie z. B.: Besiedler des Waldinneren, Besiedler von Waldinnenrändern, Besiedler von Waldaußenrändern, Besiedler von Blößen (Lücken), Besiedler von Trockenstandorten, Besiedler von Feuchtstandorten, Besiedler von permanent oder temporär überfluteten Standorten, Besiedler nährstoffarmer/nährstoffreicher Standorte, Besiedler konkaver/konvexer Geländeformen, Besiedler relativ zu einem Bezugsniveau (z. B. dem Grundwasserspiegel) niedrig/hoch gelegener Standorte, Besiedler von sonnenexponierten/sonnenabgewandten Standorten, Besiedler von windexponierten/windabgewandten Standorten, Besiedler von Standorten mit eher starken oder eher schwachen Luftbewegungen, Besiedler von Standorten mit eher hoher/eher geringer Evapotranspiration, Besiedler von ebenen Standorten, Besiedler von schwach/mittel/stark geneigten Standorten, Besiedler von planaren/collinen/submontanen/montanen/obermontanen/subalpinen/alpinen Standorten (oder einfacher: von Tieflagen/Hochlagen), Besiedler von siedlungsnahen/siedlungsfernen Standorten, Besiedler von intensiv/extensiv von Menschen genutzten Räumen, – auch in Kombination mehrerer solcher oder anderer Merkmale. Andere Merkmale der Gliederung nach Vorkommen von Biomasse können beispielsweise sein:
- Die Biomasse von Tieren kann gegliedert werden nach unterschiedlichen Aspekten, z. B. nach Zugehörigkeit zu Stratenbesiedlungstypen (z. B. Bewohner der Mooschicht, Krautschicht, Strauchschicht, Baumschicht; des unteren, mittleren, oberen Kronenraums), sowie den vorgenannten Merkmalen des Pflanzeninventars, des Standorts oder des Klimas. Es ist davon auszugehen, dass solche Merkmale des Vorkommens (oder auch der Abwesenheit) von – in digitalen Modellen der Erdoberfläche (einerseits mit und andererseits ohne Berücksichtigung darauf stockender Vegetation oder darauf befindlicher Bauwerke) detektierbaren – Individuen oder Arten von Pflanzen oder Tieren oder anderen Organismen oder Sachverhalten oder Merkmalen in einem Bezug zu ebenfalls räumlich definierten oder definierbaren Gegebenheiten stehen, oder unter Einsatz mathematisch-statistischer Modelle mit solchen in eine Beziehung gestellt werden können.
- [0194] Wenn aus digitalen Modellen als vereinfachte Wiedergaben der Wirklichkeit automatisch, gegebenenfalls unter Einsatz von Expertenwissen, Objekte, Objektgruppen oder Objektdetails detektiert werden können, so können diese in Beziehung gesetzt werden zu anderen Merkmalen, die ebenfalls in solchen Modellen der Wirklichkeit detektiert werden können. Besteht gesichertes Wissen über Zusammenhänge zwischen solchen Merkmalen in derartigen Modellen der Wirklichkeit und solchen, die nicht direkt oder unmittelbar aus ihnen extrahiert werden können, so kann von den Analyseresultaten der Modelle auf jene anderen geschlossen werden. Ist solches Wissen auch nach Art, Stärke und Regelmäßigkeit dieser Zusammenhänge verfügbar oder kann in Einzelfällen erworben werden (z. B. durch das Entnehmen von Stichproben aus der zu untersuchenden Gesamtheit, wie es beim Groundtruthing, der Überprüfung der Fernerkundungsergebnisse durch Geländeaufnahmen, in der Erderkundung getan wird), so können solche Modelle dazu verwendet werden, (welche ja in beliebig unterschiedlicher, beliebig komplexer Weise analysiert werden können) vielerlei, auch neue, nicht direkt in den Modellen enthaltene, Informationen aus den Modellen zu gewinnen, welche ihrerseits Merkmale betreffen, die in den vorliegenden Datensätzen und Modellen nicht direkt wiedergegeben sind.
- [0195] Diese Art Informationsgewinnung ist bekannt und wird z. B. in mehrphasigen oder mehrstufigen Stichprobeninventuren umgesetzt, wobei nicht direkt erkennbare oder messbare Sachverhalte (Primärvariablen) durch direkt erkennbare oder messbare Sachverhalte (Sekundärvariablen) auf dem Wege statistischer, stochastischer oder anderer Berechnungen hergeleitet werden. Auf diese Weise können, mittelbar, aus den in den Modellen enthaltenen Informationen solche Informationen gewonnen werden, die andernfalls nur mit viel höherem Aufwand oder gar nicht zu gewinnen wären.
- [0196] In diesen Möglichkeiten liegt ein großes Potential der TREESCAPE-Verfahren. Die verschiedenen Verfahren sind geeignet, die Modelle anhand der Datensätze in sehr vielfältiger Weise zu analysieren, so dass aus ihnen Informationen, auch Sekundärinformationen, gewonnen werden können, welche ohne den Einsatz von TREESCAPE-Verfahren nur mit viel höherem Aufwand oder gar nicht zu gewinnen wären.

[0197] Vielerlei Zusammenhänge zwischen Befunden, die direkt oder unmittelbar aus digitalen Modellen extrahiert werden können und solchen, die nicht direkt oder unmittelbar aus ihnen extrahiert werden können, können also aus den Erkenntnissen über die unmittelbar aus solchen Modellen extrahierten Informationen gewonnenen werden. Somit kann von den unmittelbar aus solchen Modellen gewonnenen Resultaten.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Fernerkundung morphologisch und strukturell komplexer Objekte in einem Objektraum, mit den Schritten:
 - a) Erfassen von Topometriedaten und -informationen in dem Objektraum;
 - b) Auswerten der Topometriedaten und -informationen;
 - c) Wiedergeben der ausgewerteten Topometriedaten und -informationen als maschinenlesbare oder sensitiv wahrnehmbare Datensätze,
 dadurch gekennzeichnet,
 - daß der Schritt a) zusätzlich das Erfassen von Morphometriedaten und -informationen umfaßt, daß der Schritt b) zusätzlich das Auswerten der Topometriedaten und -informationen und der Morphometriedaten und -informationen umfaßt, und daß der Schritt c) zusätzlich die Wiedergabe der ausgewerteten Topometriedaten und -informationen und Morphometriedaten und -informationen umfaßt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Morphometriedaten und -informationen ausgewählt werden aus einer Gruppe bestehend aus Flächeninformationen, Volumeninformationen, Form- und Gestaltungsformationen und Lage-, Dimensions- und Gestaltsverhältnisinformationen.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Topometriedaten und -informationen ausgewählt werden aus einer Gruppe bestehend aus Punktinformationen und Linieninformationen.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Topometriedaten und -informationen und die Morphometriedaten und -informationen aus dem Objektraum automatisch extrahiert werden.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die automatische Extraktion unter Erfassung und Auswertung von Elementen durchgeführt wird, ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Oberfläche(n), Volumenobjekt(e), Schnitte durch das Objekt, Schnitte durch den Objektraum.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Erfassung der Elemente erfolgt durch einen Vorgang ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Auffinden lokaler Extremwerte, Auffinden von Bildelementen konkreter absoluter oder relativer Werte, Vergleichen eines Datensatzes mit Referenzdatensätzen, räumliches und/oder thematisches Inbezugsetzen von Elementen innerhalb eines Datensatzes, räumliches und/oder Inbezugsetzen von Elementen zwischen verschiedenen Datensätzen.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Vorgang des Vergleichens durchgeführt wird durch ein Vergleichen ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus globales Vergleichen, regionales Vergleichen, lokales Vergleichen, selektives Vergleichen, systematisches Vergleichen, zufälliges Vergleichen und stichprobenweises Vergleichen, zeitliches Vergleichen, Vergleichen von Meß- und Schätzwerten, Vergleichen von Wahrscheinlichkeiten.
8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Vorgang des Inbezugsetzens von Datensätzen das Inbezugsetzen von Datensätzen desselben oder unterschiedlichen Ursprungs oder Typs umfaßt.
9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die maschinenlesbaren oder sensitiv wahrnehmbaren Datensätze aus in einem n-dimensionalen Raster angeordneten, alphanumerischen Daten oder aus Vektoren zusammen gesetzt werden.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die maschinenlesbaren oder sensitiv wahrnehmbaren Datensätze aus einem orthogonalen und äquidistanten Raster zusammen gesetzt werden.
11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß für die Daten ein Standard-Datenformat gewählt wird.
12. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß durch die maschinenlesbaren oder sensitiv wahrnehmbaren Datensätze ein das Objekt repräsentierendes Modell dargestellt wird.

Hierzu 29 Seite(n) Zeichnungen

2.5D Oberflaechenmodell HDKM_I

FIG. 1

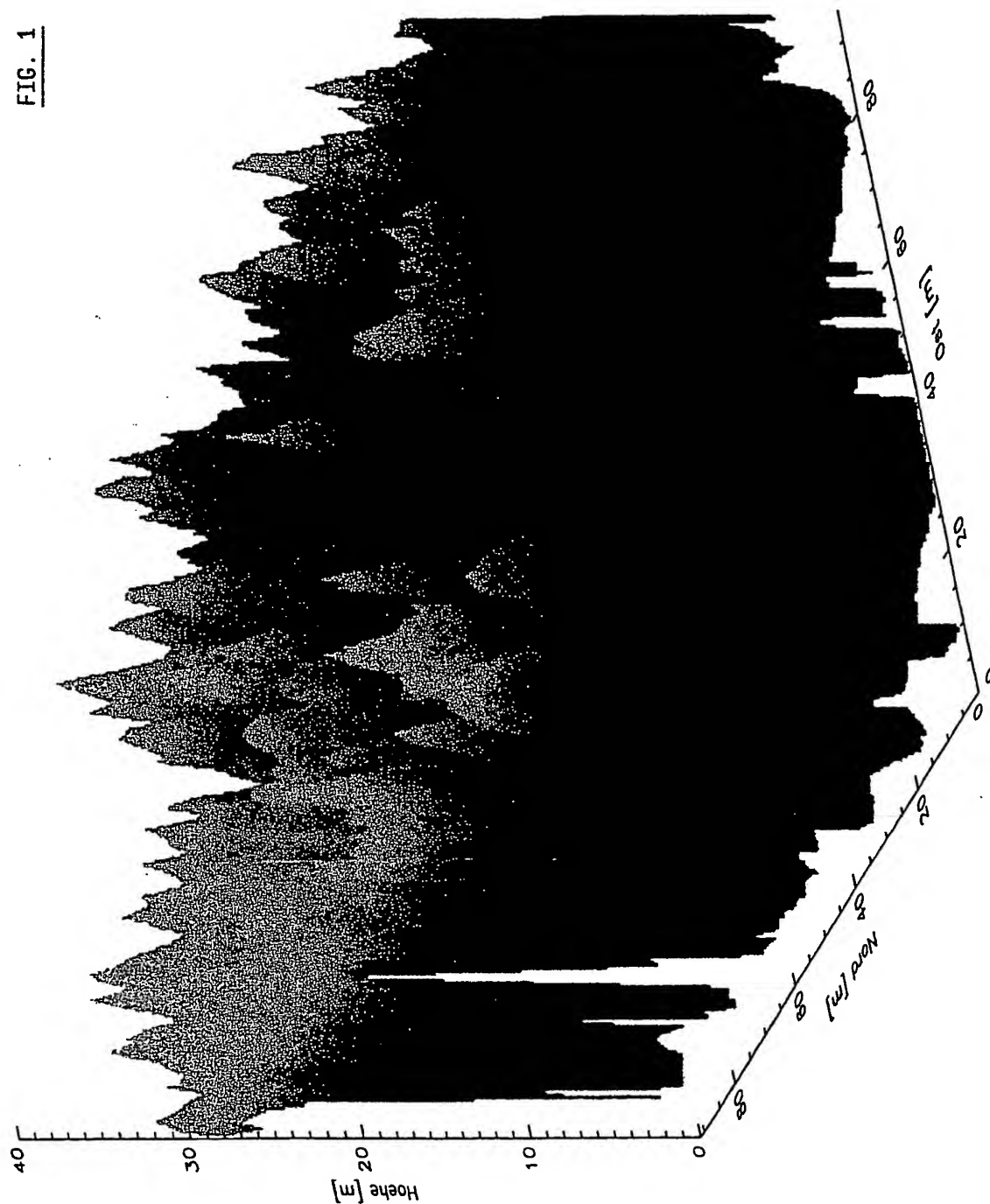


FIG. 2

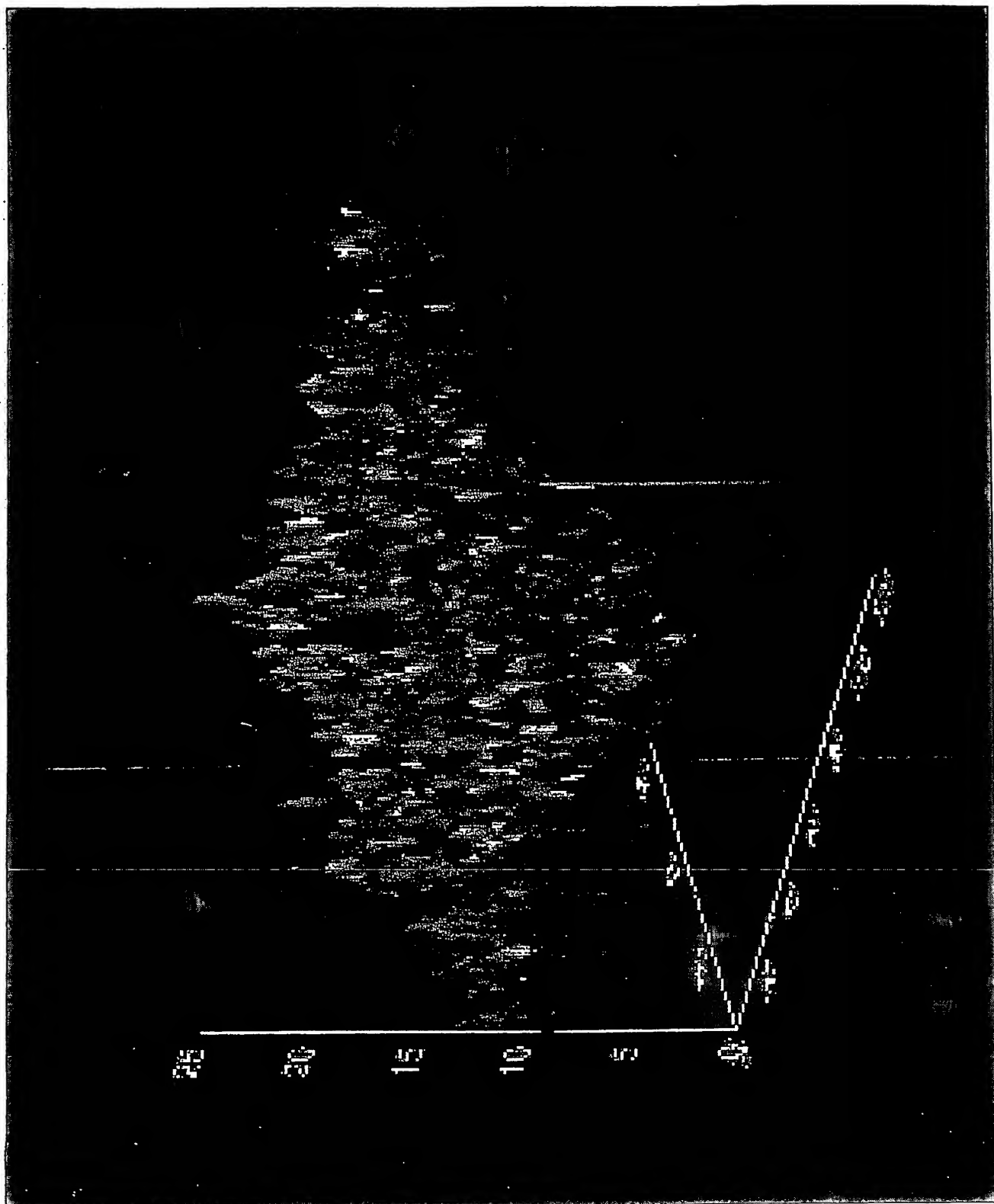


FIG. 3

Höhenprofil durch Datensatz: Zeile 50

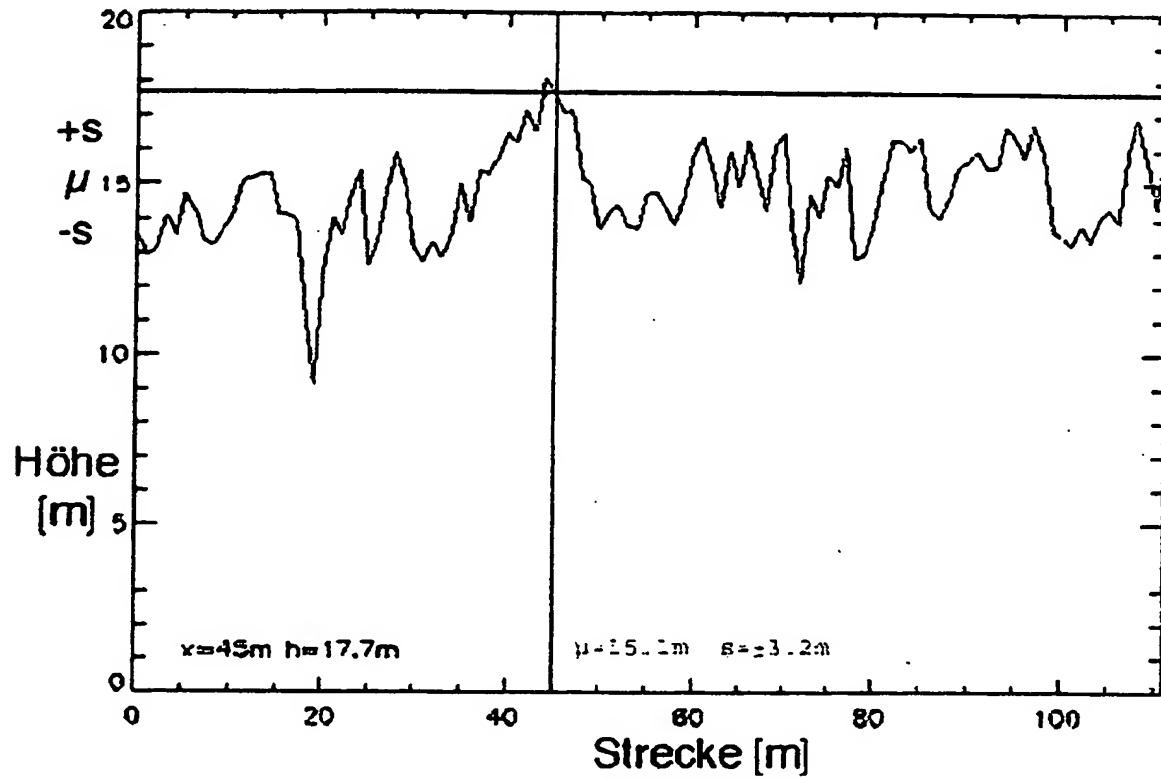
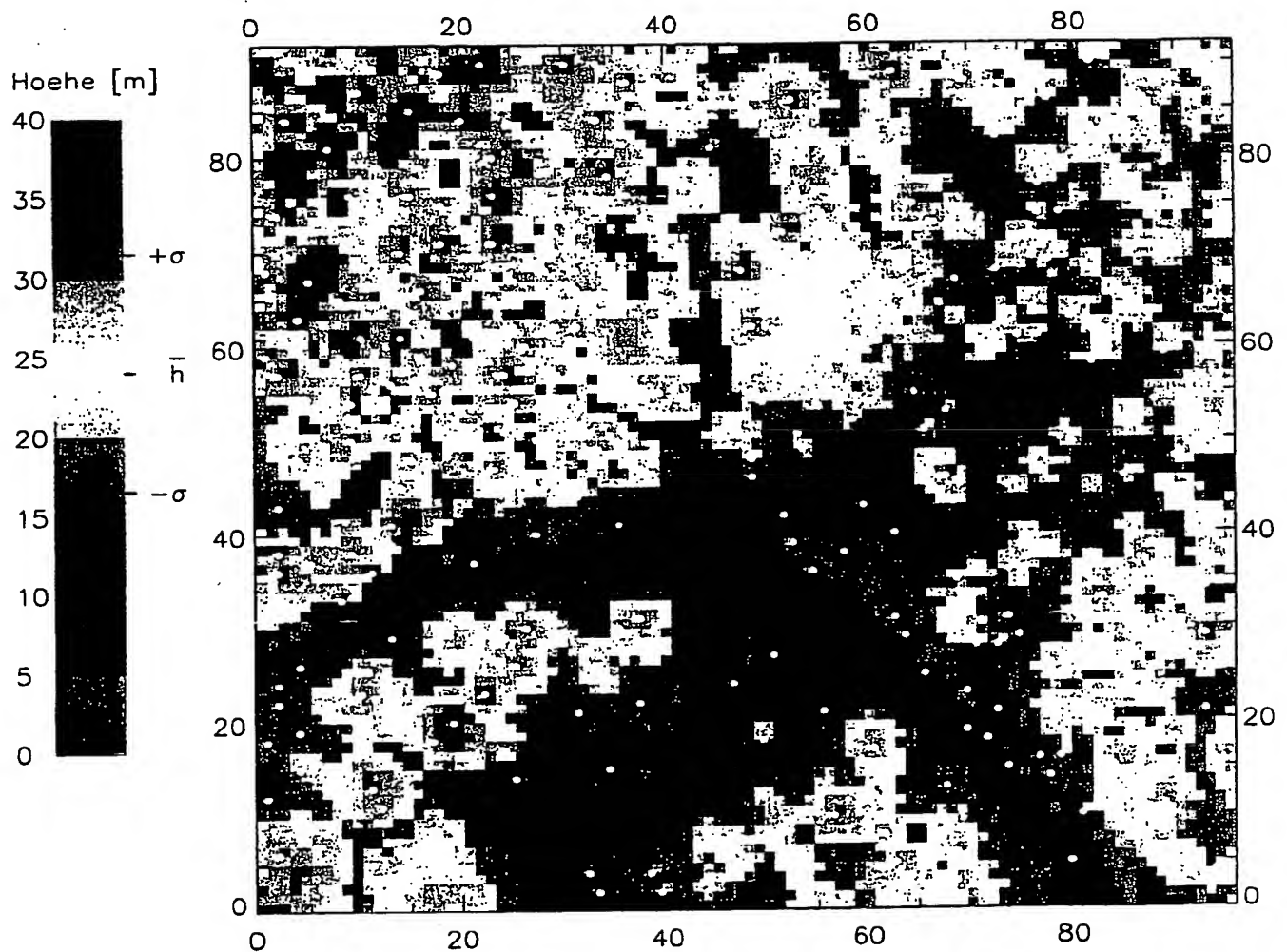


Bild aus hoehencodierten Pixeln
 mit Positionen aller lokalen Hoehenmaxima

Testbestand: HDKM_I

FIG. 4



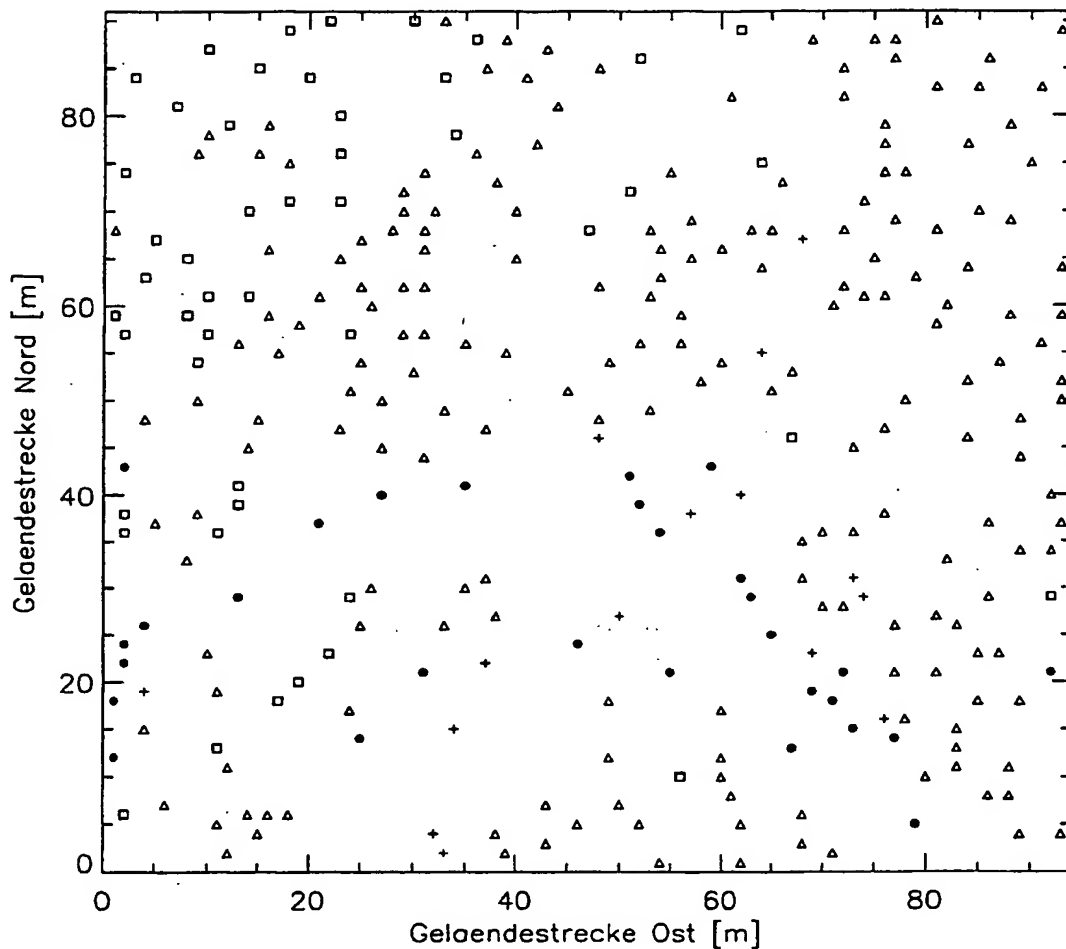
Gesamtzahl lokaler Maxima: 292 je ha: 341

$\bar{h}_{\text{IMax}} = 24.0\text{m}$ $s_{h_{\text{IMax}}} = 7.5\text{m}$ $h_{\text{IMax}_{\text{min}}} = 0.8\text{m}$ $h_{\text{IMax}_{\text{max}}} = 35.5\text{m}$ $h_{\text{max}20\%} = 31.3\text{m}$

Lageplan der Positionen aller lokalen Hoehenmaxima, klassifiziert nach 10m-Hoehenstufen

Testbestand: HDKM_I

FIG. 5



Anzahl lokaler Hoehenmaxima nach Hoehenstufen

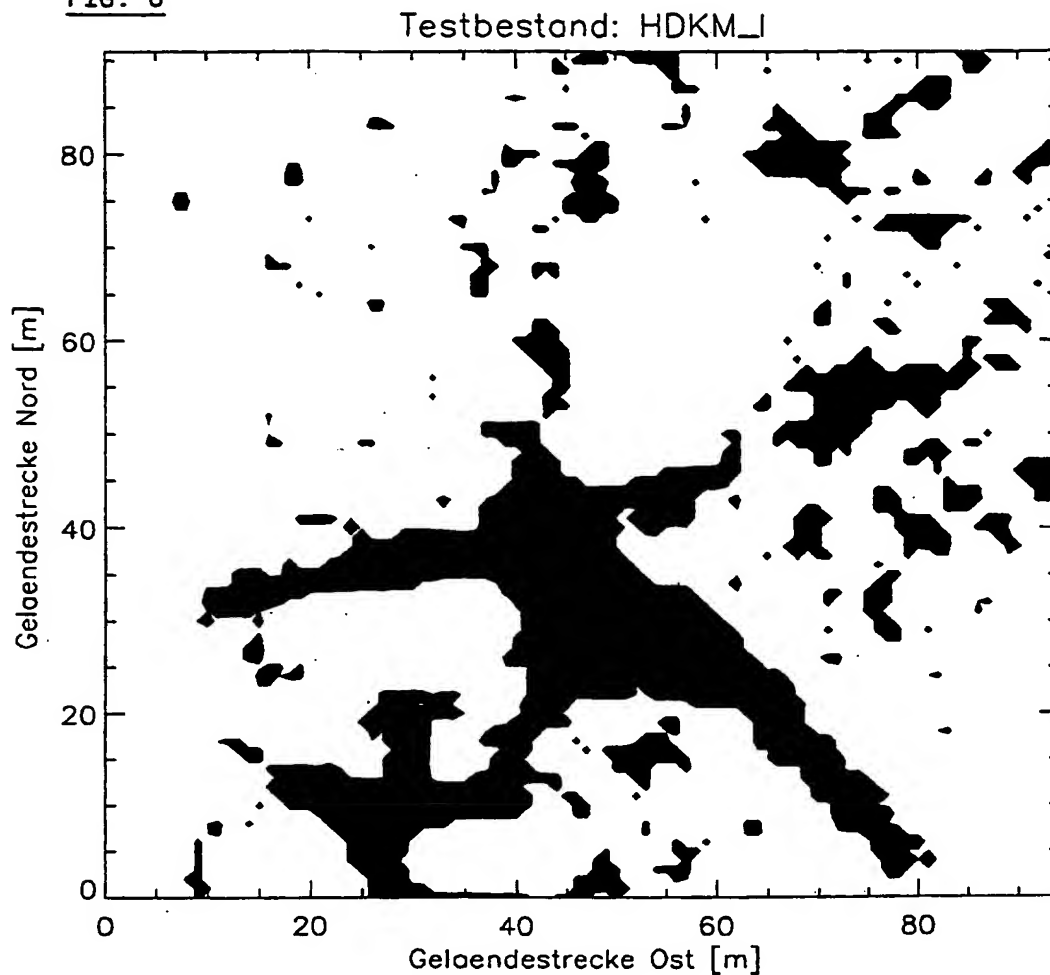
● 0m < h < 10m: 29	je ha: 33	+ 10m < h < 20m: 15	je ha: 17
△ 20m < h < 30m: 200	je ha: 233	□ 30m < h < 40m: 48	je ha: 56
* 40m < h < 50m: 0	je ha: 0	◇ h > 50m	je ha: 0

Anzahl, gesamt: 292 je ha: 341

$$\bar{h}_{\text{IMax}} = 24.0\text{m} \quad s_{h\text{IMax}} = 7.5\text{m} \quad h_{\text{IMax}_{\min}} = 0.8\text{m} \quad h_{\text{IMax}_{\max}} = 35.5\text{m} \quad h_{\text{max}20\%} = 31.3\text{m}$$

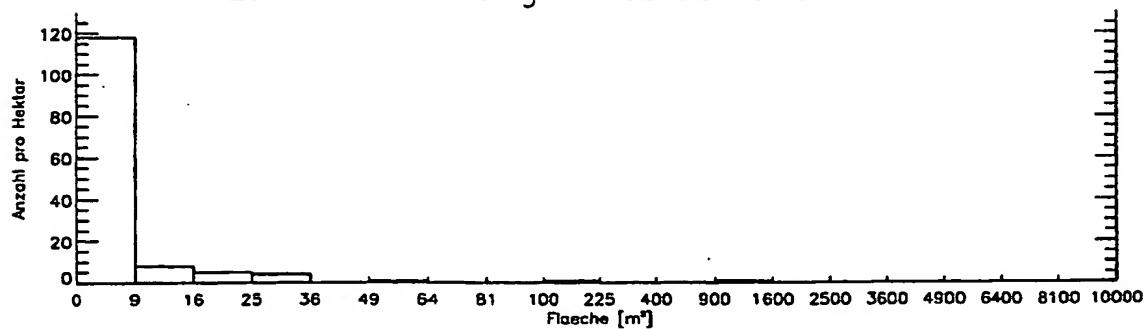
Karte der Bestandesluecken

FIG. 6



Anzahl der Luecken = 118 Anzahl Luecken/ha = 138 L% = 18.2
 $F_L = 13.2\text{m}^2$ $s_{FL} = 91.7\text{m}^2$ $F_{L_{\min}} = 1.0\text{m}^2$ $F_{L_{\max}} = 992.2\text{m}^2$

Lueckenverteilung in Testbestand: HDKM_I



Baumkronenprojektionen (Simulation)

mit aufprojiziertem Höhenmessraster der Waldoberfläche

Legende der Kronenpolygone: braun: Buche; gelb: Eiche

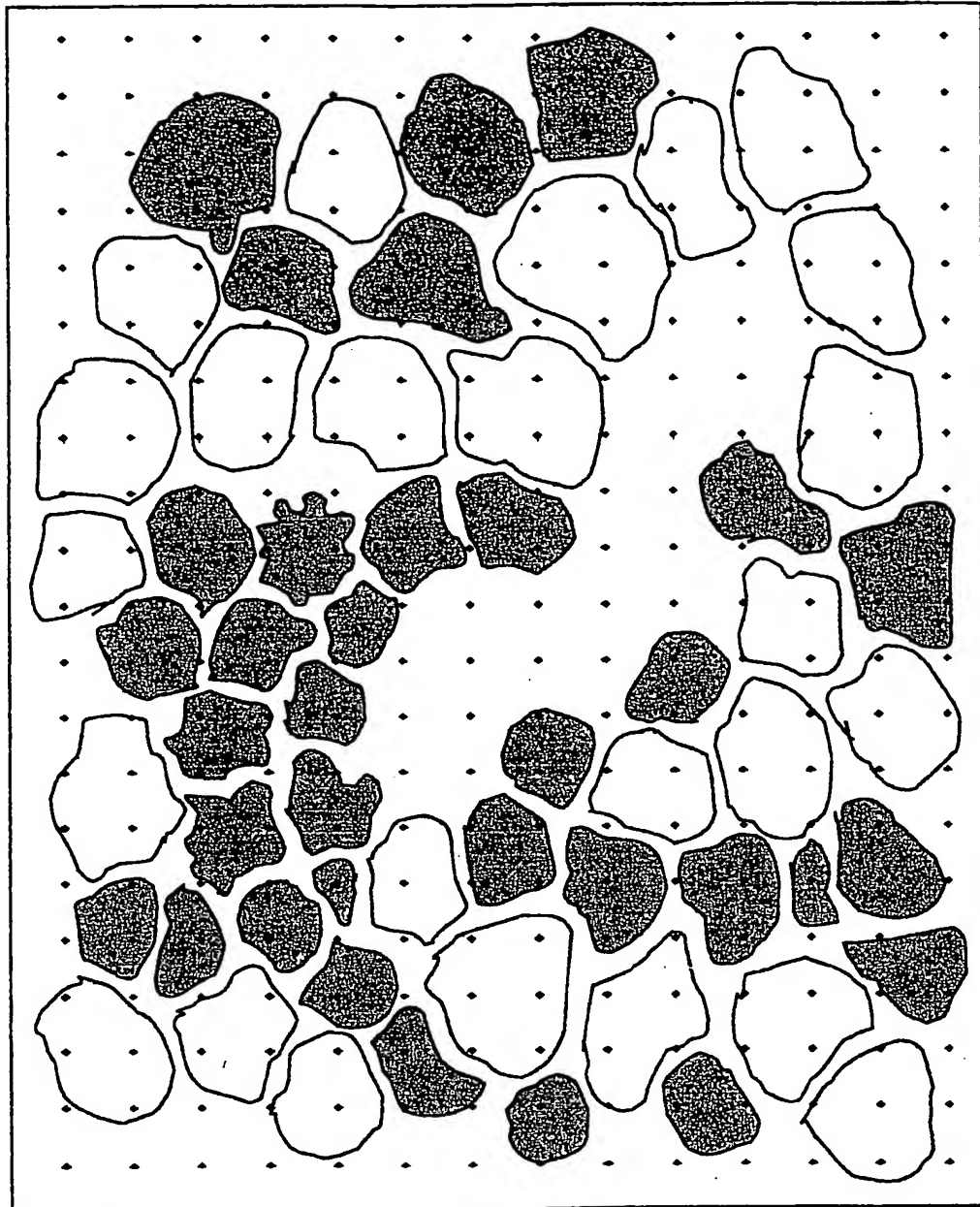
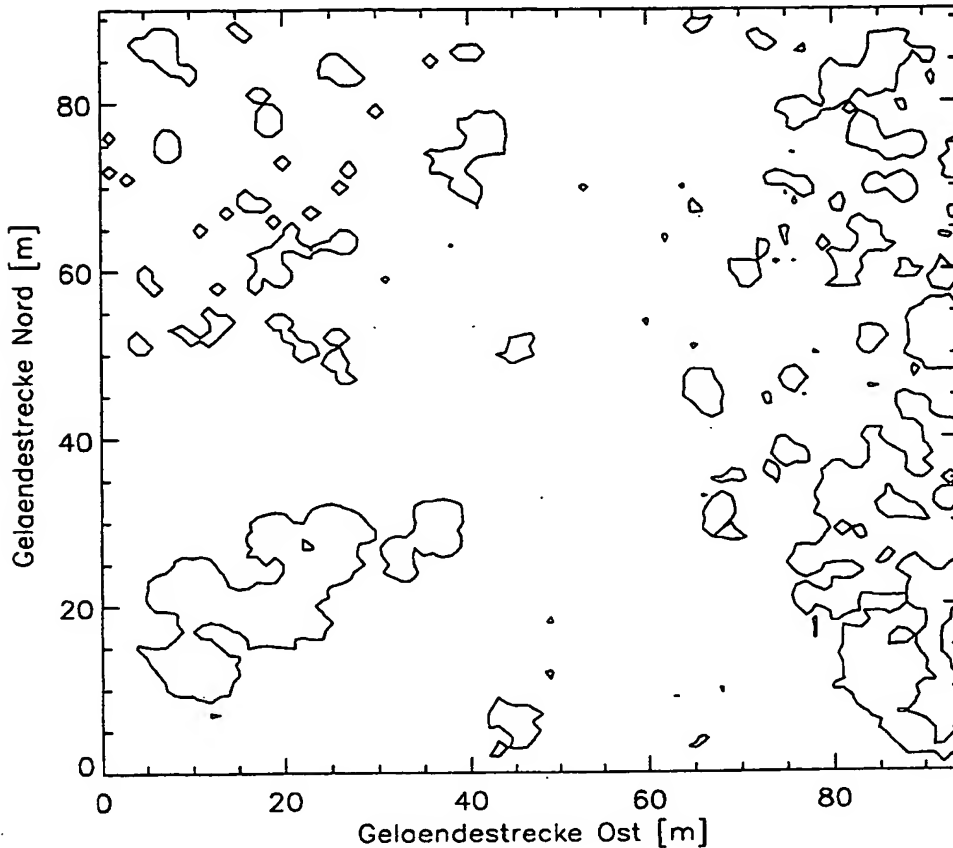


FIG. 7

HDKM-I, Konturplot bei $0.6 \cdot h_{\text{Max}}$
 angeschnittene Konturlinien wurden nicht beruecksichtigt

FIG. 8



Mittelwerte und Standardabweichungen von 99 untersuchten Konturlinien

Mittelwert der Kenngrösse

Fläche = 13.3m^2

Umfang = 12.2m

$\text{Umfang}^2/\text{Fläche} = 22.5$

Fläche-Umfang-Faktor = 0.6

Kreisförmigkeitsfaktor = 0.5

Umf. flächengleicher Kreis = 5.9m

Durchm. flächengleicher Kreis = 1.9m

$U_{\text{Poly}}/U_{K_{\text{eq}}} = 1.8$

Laenge des Flächenelements = 4.0m

Breite des Flächenelements = 2.6m

Standardabweichung der Kenngrösse

$\sigma\text{Fläche} = 41.4\text{m}^2$

$\sigma\text{Umfang} = 20.2\text{m}$

$\sigma\text{Umfang}^2/\text{Fläche} = 12.5$

$\sigma\text{Fläche-Umfang-Faktor} = 0.2$

$\sigma\text{Kreisförmigkeitsfaktor} = 0.1$

$\sigma\text{Umf. flächengleicher Kreis} = 5.9\text{m}$

$\sigma\text{Durchm. flächengleicher Kreis} = 1.9\text{m}$

$\sigma U_{\text{Poly}}/U_{K_{\text{eq}}} = 0.4$

$\sigma\text{Laenge des Flächenelements} = 4.0\text{m}$

$\sigma\text{Breite des Flächenelements} = 2.6\text{m}$

Verteilung der Ausrichtungen der Konturlinien

N - S: 12.1%

W - O: 16.2%

NW-SO: 5.1%

SW-NO: 13.1%

Richtungslos: 53.5%